

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій**

«На правах рукопису»
УДК 681.142

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Володимир, ЄРЕМЕНКО
«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Метрологія та вимірювальна
техніка»
зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна
техніка»
на тему: «Система визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь»**

Виконав:
студент VI курсу, групи ПВ-91мп
Шумілін А.Г. _____

Керівник:
проф. каф. ІВТ, к.т.н., доц.
Яремчук Н.А. _____

Консультант з розробки стартап-проекту:
доц. каф. менеджмента, д.е.н., доц.,
Бояринова К.О. _____

Рецензент:
проф. каф. ПСНК д.т.н., проф.,
Куц Ю.В. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.
Студент _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет - Приладобудівний

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою «Метрологія та вимірювальна техніка»

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» _

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Шуміліну Андрію Тенасішовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь
науковий керівник дисертації Гремчук Ніна Антонівна, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 09.12.2020 р.

3. Об'єкт дослідження процес опрацювання вербальних даних, отриманих при візуальному і тактильному контролі якості продукту

4. Предмет дослідження (вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) методи і алгоритми опрацювання вербальних даних за допомогою непараметричних оцінок та операторів нечіткої логіки.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1.Огляд методів і способів вимірювання і спостереження шорсткості оброблених поверхонь. 2.Порівняння методів і алгоритмів визначення центру вербальних вибірок. 3.Розробка структурної схеми і вибір

алгоритму роботи системи. 7. Розробка нитамь метко-
вного забезпечення при опрацюванні категоризованого
данних. Стартан
проект.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
Ілюстраційний матеріал - 5 аркушів.

7. Орієнтовний перелік публікацій Матеріали доповідей
двох конференцій.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартан-проект	Бояринова К.О., к.е.н., доцент, викладач кафедри менеджменту		

9. Дата видачі завдання 15.09.2020 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд методів і способів вимірювання широтності опрацювання поверхонь.	23.10.2020	
2.	Огляд вибірок і методів визначення центру вербальних вибірок.	23.10.2020	
3.	Порівняння методів визначення центру вербальних вибірок.	5.11.2020	
4.	Розробка структурної схеми і алгоритму роботи системи	25.11.2020	
5.	Розробка нитамь метко-вного забезпечення.	30.11.2020	
6.	Розробка стартан-проекту	30.11.2020	
7.	Оформлення магістерської дисертації і ілюстраційного матеріалу.	9.12.2020	

Студент


(підпис)

Андрій Ширшук
(ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

Ніна Яковлук
(ім'я, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел з 18 найменувань, двох додатків та містить 19 рисунків, 35 таблиць. Обсяг магістерської дисертації складає 112 сторінок, з яких перелік посилань займає 2 сторінки, додатки — 13 сторінок.

Сучасною тенденцією вимірювальної техніки є її розширення в область вимірювання ординальних величин. В роботі представлено метод визначення центральної тенденції вербальних вибірок, що ґрунтується на одночасному застосуванні двох оцінок. Метод запропоновано використовувати в системі визначення рівня шорсткості за візуальним та тактильним контролем, крім того, метод визначення центральної тенденції разом із критерієм домінування дозволяє побудувати контрольну карту технологічного процесу обробки поверхонь за оцінками їх шорсткості.

Магістерська дисертація виконана на кафедрі ІВТ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» у рамках науково-дослідної роботи кафедри.

Метою дисертаційної роботи є створення системи визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь для підвищення точності при визначенні якості обробки об'єкту вимірювання. Для досягнення поставленої мети вирішено наступні задачі:

- проведено огляд існуючих методів та засобів вимірювання рівня шорсткості;
- досліджено способи опрацювання вербальних даних;
- систематизовано рівні якості обробки шорсткості поверхні;
- виконане моделювання процедури побудови контрольної карти з визначенням попереджувальних і контрольних границь.

Об'єктом дослідження є процес контролю рівня шорсткості оброблених поверхонь.

Предметом дослідження є способи визначення центральної тенденції вербальних вибірок та способи побудови контрольних карт на основі вербальних даних.

Для вирішення **поставлених задач** використовуються непараметричні методи та оператори нечіткої логіки для опрацювання вербальних даних.

Інноваційна новизна одержаних результатів полягає в об'єднанні методів визначення рівня шорсткості та введенні проміжних класів еквівалентності для збільшення розрізняльної здатності результатів у визначенні рівня шорсткості поверхні об'єкту.

Отримані результати перевірені моделюванням процедури побудови контрольної карти та метрологічної перевірки результатів візуального або тактильного контролю.

Статті опубліковані в збірнику праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» 2019 року та в збірнику праць XIII Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування» 2020 року.

Ключові слова: вербальна вибірка, медіана, оператор OWA, рівні шорсткості, візуальний контроль.

ABSTRACT

The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of sources used with 18 titles , two appendices and contains 19 figures, 35 tables. The volume of the master 's dissertation is 112 pages, of which the list of references is 2 pages , appendices - 13 pages.

A modern trend in measuring technology is its expansion into the field of measurement of ordinal quantities. The paper presents a method for determining the central trend of verbal samples, which is based on the simultaneous application of two estimates. The method is proposed to be used in the system of determining the level of roughness by visual and tactile control, in addition, the method of determining the central trend together with the criterion of dominance allows to build a control map of the surface treatment process by estimating their roughness.

The master's dissertation was completed at the Department of NTUU “KPI named Igor Sikorsky” "in the framework of research work of the department.

The purpose of the dissertation is to create a system for determining the level of roughness of the treated surfaces to improve the accuracy in determining the quality of processing of the object of measurement. To achieve this goal the following tasks are solved:

- a review of existing methods and means of measuring the level of roughness ;
- researched ways of verbal data processing ;
- levels of quality of surface roughness processing are systematized ;
- performed simulation of the procedure for constructing a control card with the definition of the warning and control limits.

The object of the research is the process of controlling the level of roughness of treated surfaces.

Subject of the research are methods of determining central tendency verbal samples and with posoby constructing control charts based on verbal information.

To solve the problems , non-parametric methods and fuzzy logic operators are used to process verbal data .

The innovative novelty of the obtained results is in about union methods of determining the level of roughness and the introduction of intermediate grade equivalence for increasing the distinctive character results in determining the level of surface roughness against facility.

The obtained results are verified by modeling the procedure of construction of the control map and metrological verification of the results of visual or tactile control.

Articles published in a collection of papers X V scientific-practical conference of students and young scientists " efficiency engineering solutions in instrumentation " in 2019 and a collection of articles XIII Scientific-practical conference of students and young scientists "Looking to the future instrument" in 2020 .

Keywords: verbal sampling, median, OWA operator, roughness levels, visual control.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ	11
1.1 Поняття шорсткості.....	11
1.2 Параметри шорсткості	12
1.3 Класифікація рівнів шорсткості.....	14
1.4 Способи та засоби вимірювання рівня шорсткості.....	22
1.5 Прилади для вимірювання шорсткості.....	28
1.5.1 Профілометр портативний UIT TR200	28
1.5.2 Тестер Walcom SRT-6210	30
1.5.3 Профілометр TR 100	32
1.5.4 Профілометр-профілограф TS-7	34
1.6 Процедура візуального контролю шорсткості поверхні	36
1.7 Висновки.....	41
2. СПОСОБИ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ОТРИМАНИХ ЗА ВІЗУАЛЬНИМ І ТАКТИЛЬНИМ МЕТОДАМИ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ.....	42
2.1 Формування вибірок вербальних даних.....	42
2.2 Ранговий метод опрацювання вербальних вибірок	43
2.3 Використання спеціальних операторів для опрацювання вибірок вербальних даних	46
2.4 Висновки.....	49
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ.....	51
3.1 Розробка структурної схеми.....	51
3.2 Розробка методу опрацювання вербальних даних при оцінюванні рівня шорсткості поверхні	53
3.2.1 Опрацювання однієї вербальної вибірки	54
3.2.2 Розробка алгоритму опрацювання вербальної вибірки.....	59

3.3	Алгоритм функціонування системи в режимі визначення рівня шорсткості.....	60
3.4	Загальний алгоритм побудови контрольної карти.....	62
3.5	Дослідження розрізняльної здатності.....	64
3.6	Моделювання процедури побудови контрольної карти.....	67
3.7	Висновки	72
4.	МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	74
4.1	Розробка метрологічного забезпечення	74
4.2	Висновки.....	77
5.	РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ».....	78
5.1	Опис ідеї проєкту.....	78
5.2	Технологічний аудит ідеї проєкту	85
5.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	86
5.4	Розроблення ринкової стратегії проєкту.....	93
5.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту	96
5.6	Висновки.....	100
	ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	101
	Список використаної літератури.....	105
	ДОДАТОК А.....	107
	ДОДАТОК Б.....	113

ВСТУП

Під час виготовлення деталей виникають відступлення геометричних параметрів від їх ідеальних значень. Такі відступлення називають похибками. Ступінь наближення дійсних параметрів до ідеальних називають точністю. Поняття про похибки і точність взаємозв'язані. Чим менші значення похибок, тим вища точність і навпаки. Геометрична точність деталі є сукупним поняттям, яке можна оцінити окремими параметрами, а саме:

- ✓ точність розмірів (діаметрів, довжин, виступів і т.п.);
- ✓ точність форми (відхилення від круглості, циліндричності, прямолінійності та ін.);
- ✓ точність розташування поверхонь (відхилення від паралельності, перпендикулярності, симетричності та ін.);
- ✓ хвилястість поверхонь;
- ✓ шорсткість поверхонь.

Під шорсткістю поверхні – розуміють сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками. Шорсткість поверхонь впливає на експлуатаційні властивості деталей: тертя та зношуваність; контактні деформації; корозійну стійкість; герметичність з'єднань; міцність нерухомих з'єднань; електроконтактний опір; магнітні властивості; відбивальну здатність поверхні; теплопровідність і радіаційні властивості; міцність і якість гальванічних і лакофарбових покриттів, а також ряд інших властивостей.

Основною метою роботи є розробка алгоритму опрацювання даних, отриманих при багаторазових спостереженнях рівня шорсткості, який реалізується в системі визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ

1.1 Поняття шорсткості

Шорсткість поверхні — характеристика нерівностей, виражена у числових величинах, що визначають ступінь їхнього відхилення на базовій довжині від теоретично гладких поверхонь заданої геометричної форми.

Шорсткість поверхні — важливий показник у технічній характеристиці виробу та точності його виготовлення, що впливає на експлуатаційні властивості деталей і вузлів машин — стійкість до зносу поверхонь тертя, витривалість, корозійну стійкість, збереження натягу у пресових з'єднаннях тощо.

Шорсткість поверхні- сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділена, наприклад, за допомогою базової довжини.

Збільшене зображення реального профілю, отримане під час вимірювання шорсткості, називають профілограмою (рис. 1). Профілограму розглядають на базовій довжині l .

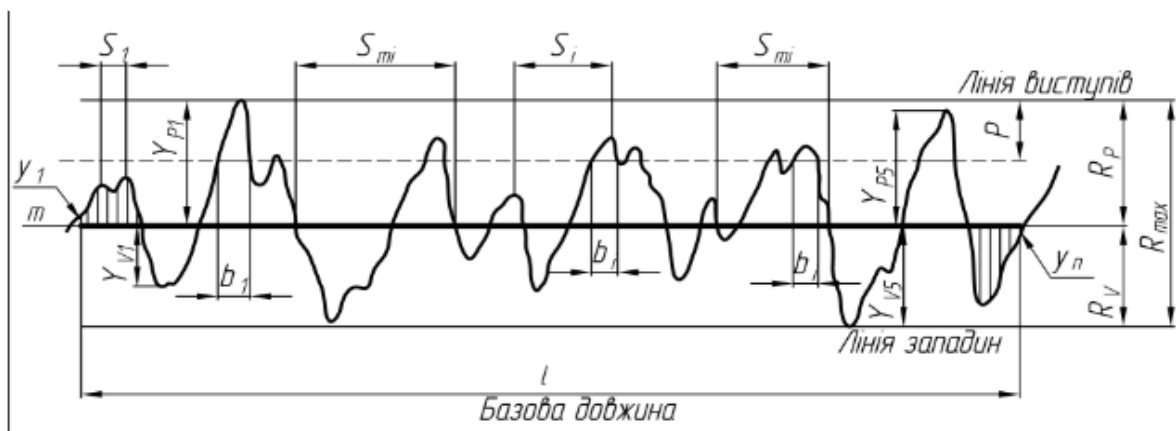


Рисунок 1. Профілограма профілю

1.2 Параметри шорсткості

Міжнародними стандартами ISO 8501, ISO 8502 та ISO 8503-1 від 2012 року визначено номенклатуру параметрів оцінки шорсткості поверхні, з яких для характеристики шорсткості вибирається один або декілька. При цьому перевага надається першому. Ці параметри наступні:

Висотні:

R_a — середнє арифметичне відхилення профілю (середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини);

R_z — висота нерівностей профілю по 10 точках (сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів і глибин п'яти найбільших впадин профілю в межах базової довжини);

R_{max} — найбільша висота профілю (відстань між лінією виступів профілю і лінією впадин профілю в межах базової довжини).

Крокові:

S — середній крок місцевих виступів профілю (середнє арифметичне значення кроку нерівностей профілю по вершинах в межах базової довжини);

S_m — середній крок нерівностей профілю по середній лінії (середнє арифметичне значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини).

Висотно-кроковий:

r_p — відносна опорна довжина профілю (відношення опорної довжини профілю до базової довжини, де p — значення рівня перерізу профілю).

Виступи шорсткості розподіляються на поверхні стінок рівномірно або нерівномірно, причому в загальному випадку вони можуть мати різну форму й розміри. В трубах промислового сортаменту через технологічну недосконалість їх виготовлення шорсткість розподілена нерівномірно. У випадку штучної шорсткості, як, напр., у дослідях І. Нікурадзе, шорсткість рівномірна за висотою.

При виборі шорсткості поверхонь деталей треба знати їх функціональне призначення та конструктивні особливості. Наприклад, для поверхонь тертя

відповідальних деталей установлюють допустимі значення R_a (або R_z), R_{max} і t_r , а також напрямки нерівностей. Для поверхонь циклічно навантажених деталей установлюють R_{max} , S_m і S .

Слід враховувати, що параметр R_a дає повнішу оцінку шорсткості, ніж R_z , тому що для його визначення вимірюють і сумують величини більшого числа точок дійсного профілю, тоді як при визначенні параметра R_z вимірюють тільки величину п'яти впадин і п'яти виступів. В окремих випадках встановлюють вимоги до напрямку нерівностей. При цьому слід враховувати, що найменший коефіцієнт тертя та знос деталей, що труться буде, якщо напрямок руху не збігається з напрямком нерівностей. Таке можна отримати при довільному напрямку нерівностей, що утворюються при хонінгуванні чи суперфінішуванні. [3]

1.3 Класифікація рівнів шорсткості

Шорсткість поверхні, сукупність нерівностей, створюючих мікрорельєф поверхні деталі. Виникає головним чином унаслідок пластичної деформації поверхневого шару заготовки при її обробці із-за нерівностей ріжучих кромek інструменту, тертя, виривання часток матеріалу з поверхні заготовки, вібрації заготовки і інструменту і т.п. Шорсткість поверхні — важливий показник в технічній характеристиці виробу, що впливає на експлуатаційних властивості деталей і вузлів машин — зносостійкість поверхонь, що труться, втомну міцність, корозійну стійкість, збереження натягу при нерухомих посадках і т.п. Вимоги до шорсткості поверхні встановлюють, виходячи з функціонального призначення поверхонь деталей і їх конструктивних особливостей. У сов.(радянський) виробництві тривалий час застосовували систему, що характеризує чистоту поверхні з відповідними їй класами; нова система (введена з 1 січня 1975) відмінняє ті, що використалися раніше класи чистоти.

Розширений комплекс параметрів нової системи сприяє встановленню обґрунтованих вимог для поверхонь різного експлуатаційного призначення. При визначенні числових значень шорсткості поверхні відлік виробляють від єдиної бази, за яку прийнята середня лінія профілю. Виміри виробляють в межах базової довжини l , тобто довжини ділянки поверхні, вибраного для вимірювання шорсткості поверхні без врахування інших видів нерівностей (наприклад, хвилястості), що мають крок більш l . Числові значення базової довжини вибирають з ряду: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 мм. Кількісно шорсткість поверхні оцінюють наступними основними параметрами (одним або декількома): середнім арифметичним відхиленням профілю R_a , висотою нерівностей профілю по 10 точкам R_z , найбільшою висотою нерівностей профілю R_{ta} , середнім кроком нерівностей S_m , середнім кроком нерівностей по вершинах S , відносною опорною довжиною профілю t_p . Числові значення параметрів шорсткості, типи напрямів нерівностей поверхонь (паралельне, перпендикулярне, колоподібне і ін.)

встановлені стандартом. Вибір параметрів шорсткості поверхні залежить від конструкції деталей і функціонального призначення їх поверхонь. Наприклад, для поверхонь відповідальних деталей, що труться, встановлюють допустимі значення R_a (або R_z), R_{ta} , t_p і напрям нерівностей; для поверхонь циклічно навантажених відповідальних деталей — R_{ta} , S_m і S_i т.п. Вимоги до шорсткості поверхні вказують числовим значенням (або діапазоном значень) одного або декількох параметрів і базовою довжиною. Для невідповідальних поверхонь шорсткість визначається вимогами технічної естетики, корозійній стійкості і технологією виготовлення.

Стандартом встановлено 14 класів шорсткості поверхні (таблиця 1.1): 1—3-й класи забезпечують обдирною обробкою (точінням, фрезеруванням, струганням); 4 — 6-й класи — напівчистою обробкою; 7—9-й класи — чистою обробкою (шліфуванням, тонким точінням, протіганням, розгортанням і т.д.); 10 — 14-й класи — доводочною обробкою (такі, як притирання) суперфініш, хонінгування і ін.). Класи шорсткості з 6-го по 14-й розділяються на розряди А, В, С. В класах 1 — 5, 13 і 14-ю не застосовують параметр R_a , а в класах 6 — 12 — параметр R_z , що викликане необхідністю однозначного визначення класу при різних методах контролю. На відміну від тих, що застосовувалися до 1975 позначень класів чистоти на кресленнях (рівносторонній трикутник з додаванням до нього номера класу, шорсткість поверхні позначають знаком ∇ з вказівкою над ним числового значення (у мкм) одного з вибраних параметрів шорсткості. Значення R_a вказують лише числом, а інші параметри — з символом, наприклад $R_z 3,2$. Вказане числове значення обмежує найбільшу шорсткість поверхні по параметрах R_a або R_z . Поверхні в стані постачання або оброблені без зняття стружки позначають символом, а при обробці із зняттям стружки —.

Початкова шорсткість поверхні, яку деталі отримують після їх виготовлення і збірки, змінюється в процесі прироблення. Ш, що виходить після прироблення (при терті кочення, терті ковзання і ін.). п., що забезпечує

мінімальний знос і що зберігається в ході тривалої експлуатації машин, називається оптимальною шорсткістю. Параметри оптимальної шорсткості поверхні залежать від конструкції і матеріалу деталей, що труться, якості мастила і інших умов роботи.

Для вимірювання шорсткості поверхні зазвичай застосовують наступні методи: контактнo—щуповий приладами (профілометрами і профілографами) і безконтактний — оптичними приладами. У машинобудуванні часто використовують візуальний метод, порівнюючи контрольовану поверхню з поверхнею зразка або деталі, що атестована. [9]

Крім стандартних параметрів шорсткості поверхні, конструктор має право нормувати й інші параметри: r - радіус вершин нерівностей; r' - радіус западин; L - довжину профілю; β - кут нахилу утворюючих, що визначають експлуатаційні характеристики деталі. Таблиця параметрів шорсткості представлена нижче (таблиця 1.1). [5]

Таблиця 1.1
Параметри шорсткості

Клас шорсткості	Параметр	Величина Параметра, мкм	Значення по ДСТУ, мкм	Допустимий квалітет
1	Rz	320-160	50,00	
2		160-80	25,00	16
3		80-40	12,50	14
4		40-20	6,30	12
5		20-10	3,20	11
6	Ra	2,5-1,25 1,25-0,63	1,60	9
7		0,63-0,32	0,80	7
8		0,32-0,16	0,40	6
9		0,16-0,08	0,20	5
10		0,08-0,04	0,10	3
11	Rz		0,05	
12			0,025	
13			0,0175	
14			0,0087	

В таблиці, що представлена нижче, наведені орієнтовні значення Ra і Rz, мкм (табл. 1.2)

Таблиця 1.2

Орієнтовні значення Ra і Rz

Клас чистоти поверхні	Середнє арифметичне відхилення профіля Ra, мкм	Висота нерівностей Rz, мкм	Базова довжина, мкм	Основна шкала
1	80	320	8	Rz
2	40	160		
3	20	80		
4	10	40	2,5	Rz
5	5	20		
6	2,5	10	0,8	Ra
7	1,25	6,3		
8	0,63	3,2		
9	0,32	1,6	0,25	Ra
10	0,16	0,8		
11	0,08	0,4		
12	0,04	0,2		
13	0,02	0,1	0,08	Rz
14	0,01	0,05		

Абразивне (механічне) доведення - найбільш розповсюджений метод чистової обробки. Продуктивність механічного доведення в 2-6 разів вище в порівнянні з ручним.

Методи абразивного доведення характеризуються різними способами подачі абразиву в зону обробки, може бути безупинна подача абразивної

суміші на робочі поверхні притирань або доведення може здійснюватися притиранням плитами, попередньо шаржованими зернами абразивних (алмазних) паст.

Доводочні операції розділяють на:

- чорнові (припуск на обробку на сторону 0,02-0,05 мм, відхилення від необхідної форми доведеної поверхні 3-5 мкм, параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,32—0,08$ мкм);

- чистові (припуск 0,005-0,01 мм, точність обробки 1-2 мкм, параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,16-0,04$ мкм);

- тонкі (припуск 0,0003-0,001мм, точність обробки 0,1-0,5 мкм, параметр шорсткості $R_z = 0,1-0,04$ мкм).

Проведена систематизація видів обробки класів шорсткості поверхні і параметрів шорсткості. (табл. 1.3)

Таблиця 1.3

Систематизація класів шорсткості поверхні за видами обробки

Вид обробки	Клас шорсткості	Параметр шорсткості	Значення параметру, мкм	Вербальні класи шорсткості
Обдирка (точіння, стругання, фрезерування)	1	Rz	320	Грубі
	2		160	
	3		80	
Напівчистова	4		40	Напівчисті
	5		20	
	6	Ra	10	Чисті
Чистова (шліфування, тонке точіння, простягання, розгортання)	7		6,3	
	8		3,2	
	9		1,6	Дуже чисті
Доводочна обробка (притирання, суперфініш, хонінгування)	10		0,8	
	11		0,4	
	12		0,2	
	13	Rz	0,1	Найвищої чистоти
	14		0,05	

Шорсткість поверхні відноситься до ординальних величин. Ординальна величина- величина, що визначена за узгодженою процедурою, для якої загальне відношення порядку може бути встановлене у відповідності із розміром по відношенню до однорідних величин, але для якої не існує ніяких алгебраїчних операцій.

Шорсткість вимірюється в декількох точках вимірюваної поверхні, таким чином ми отримуємо вибірку. За отриманими результатами після цих вимірювань, данні із виборок можна віднести до певного вербального класу.

JCGM 200: 2008. Міжнародний словник метрології (VIM):

Ординальна величина – це величина, яку визначають за встановленою процедурою вимірювання, для якої характерне відношення порядку за розміром серед однорідних величин, але не визначені алгебраїчні операції. Приклади ординальних величин: твердість за Роквеллом С, октанове число бензину, сила землетрусу за шкалою Ріхтера.

Порядкова величина – величина, визначена загальноприйнятою процедурою вимірювання, для якої можна встановити сумарне відношення упорядкування, відповідно до величини, з іншими величинами того ж виду, але для яких серед цих величин не існує алгебраїчних операцій. [16]

1.4 Способи та засоби вимірювання рівня шорсткості

Вимірювання та контроль параметрів шорсткості поверхонь виконують такими способами:

- порівнянням реальної поверхні виробу з робочими зразками шорсткості, які мають стандартизовані значення параметра R_a і виготовляються для визначення шорсткості поверхонь, що отримані різними способами обробки; замість зразків шорсткості іноді використовують атестовані зразкові деталі;
- вимірюванням параметрів шорсткості контактним способом за допомогою супортних приладів з голчастими вимірювальними головками (профілометрами, профілографами тощо);
- вимірюванням параметрів шорсткості безконтактним способом за допомогою оптичних засобів вимірювання (мікроскопів, мікро інтерферометрів).

При використанні оптичних засобів вимірювання визначають параметри шорсткості R_z і R_{max} у межах від 0,1 до 320 мкм, S і S_m – від 0,001 до 6,3 мм, а за допомогою голчастих профілометрів і профілографів залежно від типу вимірювального засобу – параметри R_a від 0,008 до 100 мкм, S і S_m від 0,003 до 12,5 мм, t_p від 0 до 100%.

На рисунку 2 представлено зразки шорсткості поверхні.

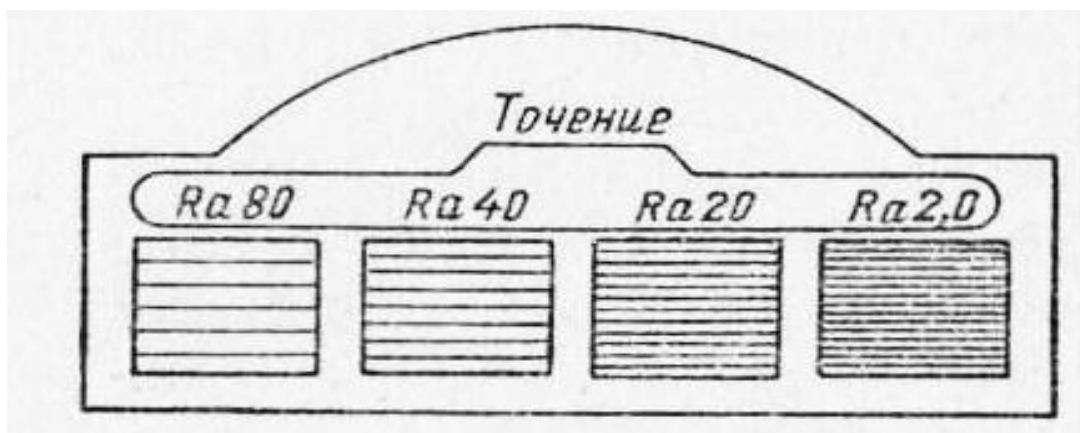


Рисунок 2. Зразки шорсткості поверхні

У конкретних засобах вимірювання шорсткості поверхонь за допомогою голчастих головок для визначення параметрів нерівностей використовують

вертикальні коливання голки 1 (гострого алмазного наконечника), що рухається по досліджуваній поверхні (рис. 3). Ці коливання передаються коромислу 4, що може хитатися на опорі 3 і змінювати проміжок (магнітний опір) в обох колах магнітопроводу 7 диференційного трансформатора. Це зумовлює відповідні електричні імпульси в електричних дротах 6, що живляться від джерел електричного струму 2 і 5 з частотою 10000с^{-1}

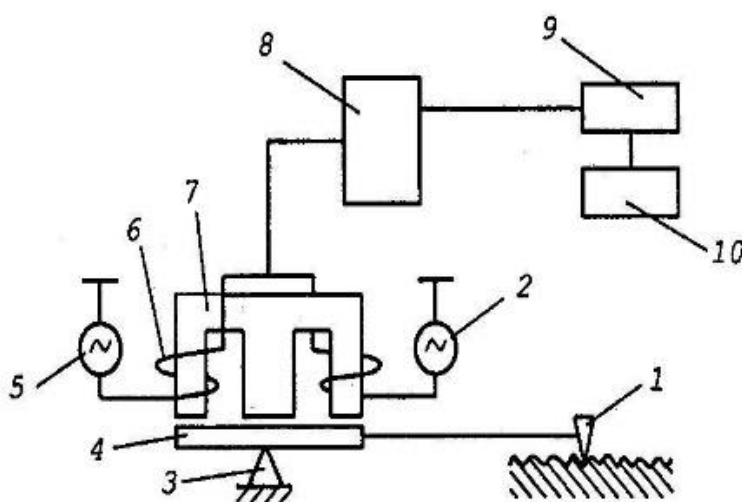


Рисунок 3. Принципова схема профілометра

Хитання коромисла перерозподіляє індуктивності, змінюючи відповідно вихідну напругу диференційного трансформатора, амплітуда якої характеризує висоту мікро нерівностей вимірюваної поверхні, а частота (залежно від заданої швидкості протягування вимірювальної головки) – їх крок. Електричні сигнали підсумовуються у блоці 8 і передаються у блок оброблення і інформації 9, а далі – у відображуючий чи записуючий блок 10.

Замість магнітно-індуктивного використовують також механотронні, п'єзоелектричні перетворювачі переміщень головки в електричні сигнали. як показувальні та записувальні засоби. як показувальні та записувальні засоби використовують аналогові та цифрові прилади.

Для вимірювання шорсткості важкодоступних внутрішніх поверхонь застосовують імерсійно-репліковий інтерферометр, на якому виміряють параметри шорсткості не самої досліджуваної поверхні, а її відбитка (репліки).

Профілометри автоматично обробляють дані вимірювання і показують кінцевий результат на циферблаті. Профілографи записують профіль контрольованої поверхні у вигляді профілограми, по якій можна визначити різні параметри шорсткості поверхні. Існують також комбіновані прилади, що виконують одночасно функції профілометра і профілографа.

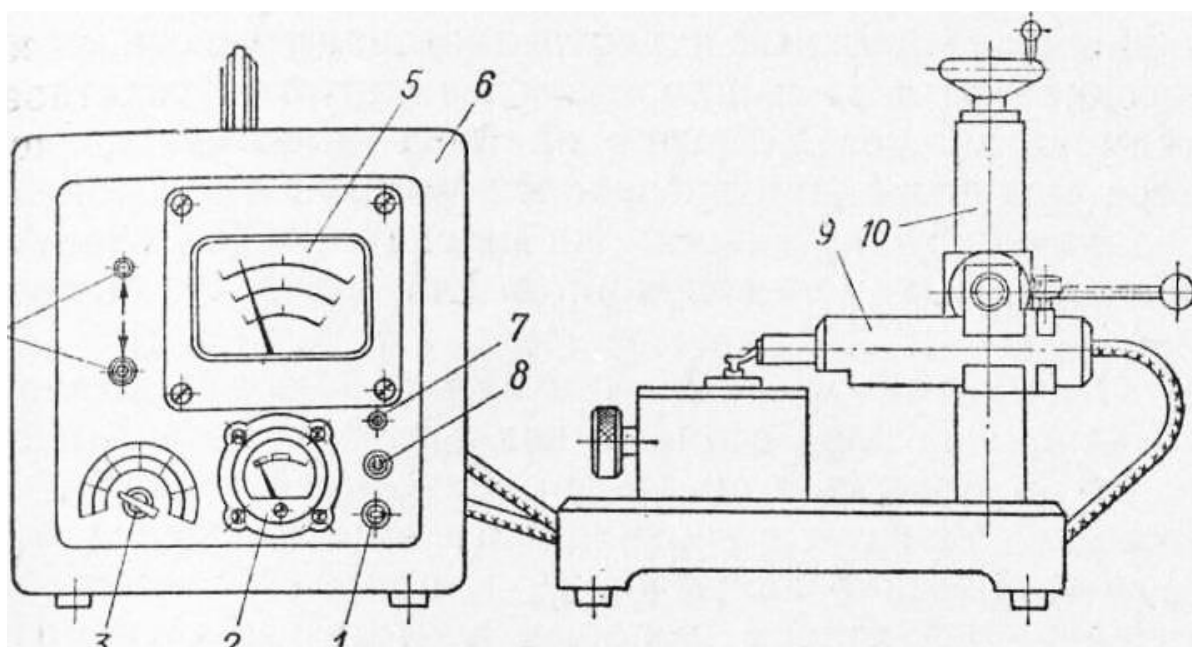


Рисунок. 4. Профілометр цехової моделі 240

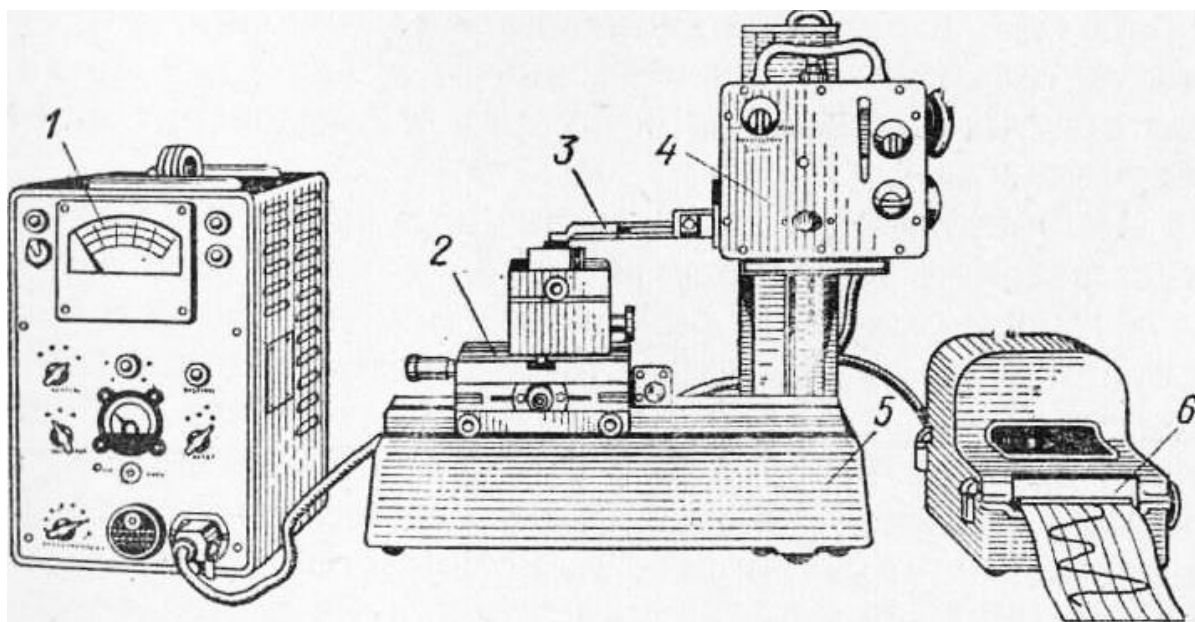


Рисунок. 5. Профілограф-профілометр моделі 201.

В даний час застосовуються профілометри-профілографи моделей 201 і 202 цехової профілометр моделі 240 і портативний моделі 253.

Основними частинами приладу є датчик, електронний блок з показує приладом і стійка. Датчик складається з вимірювальної головки, яка перетворює вертикальні переміщення голки в електричну напругу, і приводу з електродвигуном, редуктором, ходовим гвинтом і повзуном. Привід забезпечує переміщення вимірювальної головки з постійною швидкістю, рівній 106 мм/с.

Датчик кріпиться на стійці в кронштейні, який може переміщатися у вертикальному напрямку і повертати навколо горизонтальної осі при установці датчика паралельно площині перевіряється деталі. На передній панелі електронного блоку розташовані показує і контрольний прилади, тумблер і сигнальна лампа включення мережі, перемикач меж вимірювання ручка двох потенціометрів «Налаштування» і кнопка включення приводу датчика.

Прилад застосовується в цехових контрольних пунктах, а також безпосередньо на робочих місцях.

Профілограф-профілометр моделі 201 служить для визначення шорсткості і хвилястості поверхонь деталей з будь-яких матеріалів. Він дозволяє перевіряти зовнішні і внутрішні поверхні деталей, перетин яких в площині вимірювання становить пряму лінію. Дія його аналогічно дії приладу моделі 240 однак він більш досконалий. Прилад складається з двох блоків: електронного вимірювального і записуючого. На стійці розміщені вимірювальний столик, привід і датчик.

Визначення величин і профілю мікронерівностей поверхні проводиться по профілограмі записаної в прямокутних координатах. Межі вимірювань при записі профілограм - $20\ 10 - a = 0040\ 0020$ мкм. За свідченнями приладу визначається величина шорсткості поверхні в зазначених межах.

Прилад дозволяє проводити вимірювання шорсткості поверхні з різними довжинами траси інтегрування, що значно розширює його експлуатаційні можливості. Довжина траси обмацування до 40 мм дає можливість перевіряти хвилястість поверхні з великим кроком. Прилад укомплектований набором твердосплавних опор до датчика (для різних видів робіт), пристосуванням для перевірки хвилястості і діаграмним папером для запису.

Оптико-механічні прилади контролюють шорсткість поверхні безконтактним методом. Дія їх заснована на різних принципах: світлового перетину (прилади моделі ПСС), Тіньового перетину (ПТС) і інтерференції світла (МІИ). [10]

Оскільки і сам процес вимірювання і засоби вимірювання складні і дорогі, та їх використовують для вимірювання та контролю параметрів шорсткості тільки відповідальних за функціональним призначенням поверхонь виробів. шорсткість менш відповідальних поверхонь виробів не контролюють зовсім, або забезпечують шорсткість поверхонь відповідними технологічними способами та режимами оброблення.

Вимірювання та контроль параметрів шорсткості поверхонь є технічно складним завданням, оскільки до сьогодні відсутні прості та надійні засоби для

вимірювання мікро-нерівностей поверхонь різної форми та величини із високою точністю.

Через технічні труднощі, перелічені вище засоби переважно дають умовні значення параметрів шорсткості або мають малу точність. Тому часто на практиці шорсткість поверхонь визначають за допомогою простіших та дешевих способів вимірювання, наприклад, порівнюючи їх візуально чи на дотик з еталонними зразками, виготовленими із заданих матеріалів, за допомогою заданих способів оброблення.

Якісну оцінку шорсткості поверхонь конструктори, технологи та кваліфіковані робітники виконують на підставі набутого виробничого досвіду. Часто параметри шорсткості визначають за способом отримання поверхонь виробів. Наприклад, за допомогою різання матеріалів поверхні отримують у 1-4 етапи оброблення (чорновий, напівчистовий, чистовий та кінцевий, яким може бути фінішний етап).

Беручи до уваги, що параметр R_a за стандартом може мати значення 0,008... 100 мкм і поділивши цей діапазон умовно на чотири піддіапазони за параметром шорсткості, наближено можемо прийняти такі значення параметра R_a для кожного з етапів оброблення: 10...100 мкм для чорнового, 1...10 мкм для напівчистового, 0,1... 1 мкм для чистового та 0,1...0,01 мкм для кінцевого.

За цими показниками легко визначити норму шорсткості поверхні у робочому кресленні чи параметр шорсткості R_a уже готового виробу. Такий спосіб зручний як для конструкторів, що розробляють робочі креслення виробів, так і для технологів і робітників, які їх виготовляють.

Дещо складнішим є нормування та визначення параметрів шорсткості поверхонь, отриманих за допомогою лиття, тиснення, пресування, зварювання тощо. Але для кожного зі способів отримання виробів властиві фактори, що зумовлюють шорсткість поверхонь і дають змогу нормувати та визначати її параметри.[4]

1.5 Прилади для вимірювання шорсткості

1.5.1 Профілометр портативний UIT TR200



Рисунок 6. Профілометр портативний UIT TR200

Профілометр UIT TR200 – це портативний прилад, призначений для вимірювання і контролю параметрів шорсткості складних поверхонь: в отворах, пазах, на криволінійних поверхнях та ін.

Вимірник шорсткості TR200 має порт для зв'язку з комп'ютером і спеціальне програмне забезпечення для обробки даних. Вимірник шорсткості UIT TR200 робить розрахунок параметрів шорсткості відповідно до вибраної методики вимірювання і чітко відображає на рідкокристалічному екрані графік профілю поверхні і усі виміряні параметри.

Переваги:

- Вимір параметрів шорсткості : R_a , R_z , R_y , R_q , R_p , R_m , R_t , R_{3z} , R_{max} , S_k , S , S_m , t_p ;
- Способи фільтрації RC, PC - RC, GAUSS і D - P;

- Профіломер UIT TR200 сумісний з чотирма стандартами: ISO(Міжнародна організація по стандартизації), DIN(Німецький інститут стандартів), ANSI(Американський національний інститут стандартів) і JIS(Японський промисловий стандарт);
- Рідкокристалічний дисплей 128 x 64, що відображає усі параметри і графіки;
- Вбудована літієва акумуляторна батарея забезпечує роботу без заряджання впродовж 20 годин;
- Комплексне конструювання механічної і електронної частин профілометра TR200 дозволило створити легкий малогабаритний прилад, зручний у використанні;
- Для роздруку усіх параметрів і графіків використовується мініпринтер;
- Вбудований стандартний інтерфейс RS232 робить можливим зв'язок з персональним комп'ютером;
- Функція автоматичного відключення через заданий проміжок часу;
- Наявність великого об'єму вбудованої пам'яті;
- Екранні рекомендації під час роботи з приладом;
- Можливість замовлення різних видів датчиків : датчик для криволінійної поверхні, вимірювальна стійка, чохол для датчика, регульована підставка і подовжувальний стержень.

1.5.2 Тестер Walcom SRT-6210



Рисунок 7. Тестер Walcom SRT-6210

Принцип дії тестера шорсткості поверхні Walcom SRT-6210:

Під час вимірювання шорсткості датчик розміщується на поверхні, а потім однорідно ковзає вздовж, приводячи в рух внутрішній механізм. Покази шорсткості датчик отримує за допомогою гострого вбудованого зонду. Шорсткість поверхні викликає зміщення зонду, яка змінює індуктивність сенсора й генерує аналоговий сигнал. Цифровий блок конвертує отриманий сигнал і виводить результати вимірювання на дисплей приладу.

Особливості тестера шорсткості поверхні SRT-6210:

- -сумісність із чотирма стандартами: ISO, DIN, ANSI, JIS;
- -вимірювання параметрів Ra, Rz, Rq, Rt;

- -надзвичайно високоточний індуктивний датчик;
- -чотири способи фільтрації сигналу: RC, PC-RC, GAUSS, D-P;
- -вбудований літієво-іонний акумулятор з високою ємністю;
- -маленький за розміром, легкий у вазі та простий у використанні;
- -ручне або автоматичне вимикання;
- -можливість запам'ятовування семи груп результатів вимірювання та умов дослідження для подальшого використання або завантаження до персонального комп'ютера;
- -метрична/імперіальна конвертація одиниць вимірювання;
- -використання USB/RS-232 виходу для під'єднання до ПК;
- -функція вводу-виводу даних через Bluetooth.

1.5.3 Профілометр TR 100



Рисунок 8. Профілометр TR 100

Вимірювач шорсткості TR 100 портативний прилад для вимірювання шорсткості поверхні із серії приладів нового покоління, розроблених TIMEGroup Inc., Має високу точність, широкий діапазон застосування, простий і надійний в експлуатації. Профілометр TR 100 сертифікований і внесений до Державного реєстру засобів вимірювань.

Особливості даного приладу наступні:

- Призначений для вимірювань на плоских поверхнях, зовнішніх поверхнях циліндрів і похилих поверхнях.
- Малий розмір і приваблива ціна.

- Великий діапазон вимірювань, що підходить для більшості матеріалів.
- Можливість вимірювання параметрів шорсткості за шкалами Ra і Rz.
- Оснащений функцією зовнішньої калібрування за допомогою клавіатури.
- Відповідність вимогам стандартів: ISO (Міжнародна організація по стандартизації), DIN (Німецький інститут стандартів).
- Акумулятори дозволяють виконувати перезарядку під час вимірювань.

1.5.4 Профілометр-профілограф TS-7



Рисунок 9. Профілометр-профілограф TS-7 (лабораторний)

Похибка, мкм	3
Дискретність відліку, мм	0,001
Країна виробник	Італія
Вимірювальний інтервал X	25 мм
Вимірювальний інтервал Z	±500 мкм
Параметри шорсткості	48 шкал

- Вироблено SM-instruments (Італія)
- Складається з базового цифрового модуля та змінних вимірювальних наставок
- Широкий вибір аксесуарів (щупів, подовдувачів, стійок)
- Вбудований принтер
- 100% метрологічний контроль
- Сертифікат ISO 17025.

1.6 Процедура візуального контролю шорсткості поверхні

Візуальна оцінка проводиться при хорошому розсіяному денному освітленні або еквівалентному штучному освітленні. Необхідно оглянути поверхню сталі і порівняти її з кожною з фотографій без збільшення, поклавши відповідну фотографію близько до оцінюваної поверхні сталі, в тій же площині.

Для оцінки ступеня окислення необхідно записати оцінку відповідно до найгіршого з видимих ступенів. Для оцінки підготовки поверхні необхідно записати оцінку, відповідного ступеня, найбільш схожого до поверхні сталі.

Примітки

1) Крім використовуваного методу очищення, наприклад суха абразивна струменева очистка з використанням певного типу абразиву, на результати візуальної оцінки можуть впливати наступні фактори:

- початковий стан поверхні сталі, що відрізняється від будь-якої зі стандартних ступенів окислення A, B, C, D;
- колір самої сталі;
- ділянки з різною шорсткістю в результаті різних корозійних пошкоджень або нерівного видалення лакофарбового матеріалу;
- неоднорідності поверхні, наприклад вм'ятини;
- сліди впливу інструменту;
- нерівномірне висвітлення;
- зміна профілю поверхні в результаті подачі абразиву під кутом;
- впровадження абразиву.

2) У разі візуальної оцінки раніше пофарбованих поверхонь, які були підготовлені для нового фарбування, можна використовувати тільки

фотографії з позначенням ступеня корозії D або C (наприклад D Sa 2 1/2 або C Sa 2 1/2). Вибір залежить від ступеня піттинга. [11]

Із оптичних приладів найбільше використання знайшли подвійний мікроскоп і мікроінтерферометр академіка В.П. Лінника.

Подвійний мікроскоп оснований на використанні методу "світлового перетину"; за його допомогою визначають середню висоту мікронерівностей в межах 3-70 мкм (2-5 класи).

Використання мікроінтерферометра для вимірювань нерівностей основане на явищі інтерференції світла, яке можна зафіксувати за допомогою спеціального устрою. Мікро інтерферометри використовують в лабораторних умовах для оцінки найбільш чистих поверхонь з висотою нерівностей в межах 0,2-2 мкм. Поле зору у цих приладів дуже мале - до 0,5 мм².

У виробничих умовах набагато зручніше шорсткість оброблених поверхонь оцінювати шляхом їх порівняння з еталонами чистоти, які являють собою плоскі, або циліндричні зразки, виготовлені з різних матеріалів (сталь, латунь) і оброблених з заданою шорсткістю. Набори зразків – еталонів виготовляють для різних видів механічної обробки - точіння, фрезерування, шліфування тощо.

Візуальну оцінку шорсткості поверхонь, оброблених викінчувальними методами, при порівнянні зі зразками необхідно проводити за допомогою лупи не менше ніж з п'ятикратним збільшенням. Порівняння з еталоном може бути більш точним при використанні порівняльного мікроскопу, який дозволяє одночасно розглядати поверхні еталону і деталі. [12]

Кожному з методів вимірювання шорсткості поверхні властиві свої особливості, і вибір того або інакшого методу повинен визначатися конкретними задачами, що стоять перед дослідником. Однією з основних характеристик будь-якого методу є чутливість по висоті шорсткості і область просторових частот, в яких проводяться вимірювання. Також важливими параметрами є лінійні габарити, площа і час вимірювань, відсутність руйнування поверхні в процесі експерименту, а також можливість

дослідження поверхонь складного профілю. Методи вимірювання шорсткості поверхні можна віднести до двох груп:

- методи, засновані на дифракції електромагнітного випромінювання на неоднорідній межі розділу серед (оптичні і рентгенівські);
- прямі методи контролю мікрорельєфа: механічна профілометрия, атомно-силова і тунельна мікроскопія.

Інформація про якість поверхні може бути отримана на основі застосування наступних неруйнуючих оптичних методів:

- метод світлового перетину;
- растровий метод;
- рефлектометричний метод;
- метод зліпків;
- метод порівняння із зразковою деталлю;
- інтерференційний метод.

Метод світлового перетину полягає в тому, що одним мікроскопом (проекційним) на досліджувану поверхню прямує під певним кутом вузький пучок світла, при цьому на ній виходить межа тіні від непрозорої шторки (щілини), введеної в частину світлового пучка, падаючого на поверхню. Межа світла і тіні (світловий перетин) подібна профілю в перетині поверхні площиною, і по її конфігурації можна судити про розташування, форму і розміри нерівностей на випробуваній поверхні.

Другий мікроскоп (спостережливий), розташований під кутом ($2\theta=90^\circ$) відносно першого, служить для спостереження отриманого світлового перетину поверхні. Метод світлового перетину відноситься до профільних методів вимірювання нерівностей поверхні. Вважається, що прилади (двійчасті мікроскопи, прилади світлового перетину), в яких реалізовується метод світлового перетину, дозволяють вимірювати нерівності поверхні висотою від 0,8 до 63 мкм з допустимими погрішностями свідчень. Потрібно помітити, що при цьому нерівності поверхні кромки шторок, що прикривають діафрагмовану щілину (інакше говорячи, щілинний діафрагму), повинна

бути в декілька разів менше величини ($0,8/35$, $0,02$ мкм), інакше щілини будуть вносити помітне спотворення світлового перетину профілю. Досягнення цього представляє певні технологічні і метрологічні труднощі. Якщо на поверхню, що випробовується накласти скляну пластину з нанесеними на ній близько один від одного штрихами (т. є. з растровою сіткою), то при похилому падінні променів відображена картина растрової сітки накладається на штрихи самої сітки і спостерігаються муарові смуги. На основі цього явища запропонована методика вимірювання висоти нерівностей і міри шорсткості за допомогою растрового мікроскопа.

При оцінці шорсткості поверхонь складної форми і у разі важкого доступу до досліджуваної поверхні застосовують так званий метод зліпків, що полягає в знятті копій (як правило, негативних) поверхонь для подальшого вимірювання по них висоти нерівностей. Нерівності на зліпках можна вимірювати як за допомогою оптичних, так і щупових приладів. Зокрема, для цього використовують прилади електромеханічні профілографи - профілометри.

Недоліком механічних профілометрів є те, що вимірювальний щуп (алмазна голка) контактує з поверхнею і, отже, в тій або іншій мірі ушкоджує її. Крім того, процедура вимірювань тривала, особливо якщо необхідно дослідити поверхню зразка по всій її площі. Останнім часом розвивається напрям дослідження стану поверхні напівпровідникових матеріалів на скануючих зондових мікроскопах (СЗМ). При використанні атомно-силового мікроскопа (АСМ) вивчений вплив способу хімічної обробки на стан поверхні підкладок. Тунельні і атомно-силові методи володіють найвищою чутливістю і точністю, дозволяючи спостерігати атомну структуру поверхні. Однак поле зору (досліджувана площа зразка) при цьому обмежене одиницями або десятками мікрон, що неприйнятно для цілого ряду додатків. Крім цього, названі методи не дозволяють дослідити приховані межі розділу.

Методи, засновані на аналізі розсіяння і відображення рентгенівського випромінювання, привертають в цей час велику увагу і, ймовірно, найбільш

переважні для дослідження оптичних елементів рентгенівського діапазону. Рентгенівські методи володіють рядом незаперечних достоїнств: неруйнуючі методи вимірювань і висока чутливість, дозволяють дослідити шорсткість зі середньоквадратичною висотою 0,1 нм. Ці методи більше за інформативні, ніж наприклад, оптичні методи, оскільки мінімальний подовжній розмір неоднорідностей, що реєструються по порядку величини відповідає довжині хвилі зондувального пучка.

Однак на відміну від прямих вимірювань (профілометрия, АСМ), методи рентгенівського розсіювання є непрямыми і істотним образом засновуються на використанні теорії взаємодії випромінювання з шерховатою поверхнею і моделі поверхні. У зв'язку з цим встає проблема вибору адекватного теоретичного наближення, що дозволяє витягнути дані про шорсткість однозначним образом. Ще один з методів є оптичний метод вимірювань. Істотною перевагою цього методу є неруйнуючий вплив на зразки. Однак, як відомо, дозволяюча здатність оптичних методів обмежена дифракцією світлових хвиль. Деякі реалізації оптичних методів вимагають застосування спеціальних еталонів, тобто не є в повній мірі кількісними. Крім цього, принципова нестача всіх оптичних методів складається в тому, що мінімальний подовжній (вдовж поверхні) розмір шорсткості, яка ще може бути виявлені, обмежений по порядку величини довжиною хвилі зондувального випромінювання, тобто не може бути менше 0,5-1 мкм. [13]

1.7 Висновки

- Встановлено, що особливістю шорсткості поверхні є те, що вона відноситься до ординальних величин, тобто потребує певної градації у конкретних умовах.
- Розглянуто параметри шорсткості та наведено таблицю порівняння класів шорсткості, виведені значення оцінки якості оброблення поверхні.
- Систематизовано класи вимірювання шорсткості за якістю механічної обробки.
- Встановлено, що візуальний контроль виконують, як правило, неозброєним оком або за допомогою лупи. Крім того, візуальний контроль включає в себе зовнішній і внутрішній огляди об'єкта, при цьому формується якісна оцінка відхилення від заданої геометричної форми, корозійного стану, фіксується наявність поверхневих дефектів. Ця додаткова інформація теж може бути врахована у вербальному вигляді, як загальна оцінка стану об'єкту.
- В ході огляду розглянуті різні методи вимірювання шорсткості поверхні, виявлені основні особливості, проаналізовані переваги і недоліки даних методів.
- У умовах розвитку інформаційних і інтелектуальних технологій, впровадження систем управління у виробничий процес особливу актуальність набуває розробка автоматизованих методів вимірювань. Контрольовані величини лежать в субмікронній області, а операція контролю технологічного процесу виготовлення підкладок на сьогоднішній день досить трудомістка. Таким чином, можна зробити висновок про необхідність автоматизації операції контролю шорсткості, яка дозволить оперативно і достовірно отримувати інформацію і ефективно управляти технологічним процесом.

РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ОТРИМАНИХ ЗА ВІЗУАЛЬНИМ І ТАКТИЛЬНИМ МЕТОДАМИ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ

2.1 Формування вибірок вербальних даних

Так як вимірювання шорсткості поверхні відбувається на базовій довжині, то для характеристики шорсткості певного зразка використовується декілька точок за якими формують вибірку даних. Для впорядкування даних використовуються критерії домінування. Критерій домінування дозволяє віднести позицію кожної вибірки в упорядкованому просторі вибірок, для кожної пари вибірок при вимірюванні шорсткості поверхні. Якщо зразок В домінує над зразком А , то зразок А має нижче положення в упорядкуванні.

Для кожної пари зразків критерій домінування визначає домінування або відношення еквівалентності. Якщо роздільна здатність критерію домінування висока, розмірність класів еквівалентності дуже мала (тобто небагато зразків мають однакове положення в упорядкованому просторі зразків). Найбільш вирішальним критерієм є присвоєння різного положення кожній впорядкованій вибірці. Це те саме, що сказати, що кожен клас еквівалентності має лише один елемент[23].

Методика отримання вибірок наступна. Оператор оцінює якість обробки поверхні механічної деталі за допомогою візуального контролю. Щогодини аналізується зразок з чотирьох вимірювань. Оцінки даються за трирівневою шкалою: „Високий” відповідає позначенню - Н, „Середній” - М та „Низький”, відповідно, - L. У таблиці 2.1 наведені результати десяти наступних зразків.

Таблиця 2.1

Результати візуального контролю якості обробки поверхні 10 зразків
механічної деталі

Sample number	First part	Second part	Third part	Fourth part
1	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
2	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>H</i>	<i>H</i>
3	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
4	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>L</i>
5	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
6	<i>M</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
7	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>H</i>	<i>M</i>
8	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>L</i>
9	<i>M</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>
10	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>

2.2 Ранговий метод опрацювання вербальних вибірок

Для опрацювання, отриманих в таблиці 2.1 даних, автори роботи Fiorenzo Franceschini, Maurizio Galetto and Marco Varetto [14] пропонують використати ранговий метод опрацювання. За яким для окремих градацій шкали використовуються ранги. В роботі рівні порядкової шкали мають оцінки, де 1 – це “низький”, 2- “середній”, а 3 – “високий”[24-25].

Тоді середнє значення кожної вибірки оцінюють як :

$$S_i = \frac{R_{1i} + R_{2i} + R_{3i} + R_{4i}}{4} \quad , \quad \text{тоді} \quad (2.1)$$

$$S_1 = \frac{3 \times 3 + 2}{4} = 2,75 ;$$

$$S_2 = \frac{3 \times 3 + 2}{4} = 2,75 ;$$

$$S_3 = \frac{3 + 3 + 2 + 2}{4} = 2,5 ;$$

$$S_4 = \frac{3+3+2+1}{4} = 2,25;$$

$$S_5 = \frac{3 \times 2 + 2 \times 2}{4} = 2,5;$$

$$S_6 = \frac{3+2 \times 3}{4} = 2,25;$$

$$S_7 = \frac{3 \times 2 + 2 \times 2}{4} = 2,5;$$

$$S_8 = \frac{1 \times 3 + 2}{4} = 1,25;$$

$$S_9 = \frac{3 \times 3 + 2}{4} = 2,75;$$

$$S_{10} = \frac{3 \times 4}{4} = 3;$$

Результати обчислень S_i наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Результати обчислень S_i .

<i>Sample №</i>	S_i
1	2,75
2	2,75
3	2,5
4	2,25
5	2,5
6	2,25
7	2,5
8	1,25
9	2,75
10	3

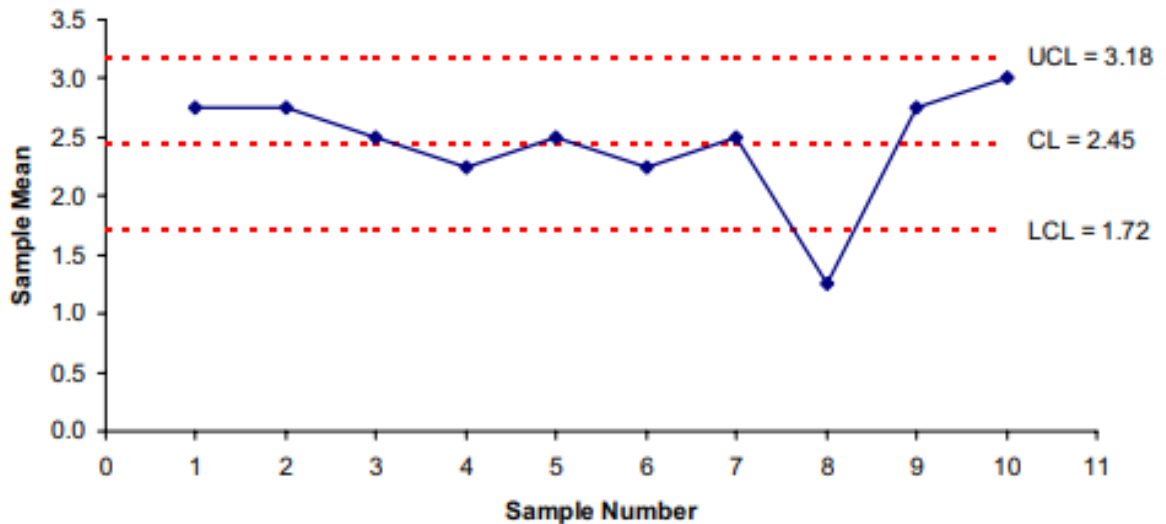


Рисунок 2.1. Контрольна карта за прикладом візуального контролю якості обробки поверхні механічної деталі. Рівні порядкової шкали оцінки мають цифрове кодування ("Низький" = 1; "Середній" = 2; "Високий" = 3)

За отриманими в таблиці 2.2 даними може бути побудована контрольна

карта (рисунок 2.1), де середнє значення $CL = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{N} = 2,45$;

А верхню і нижню контрольні границі UCL та LCL визначають як ті, що відповідають $\pm 3\Delta$ (СКО) від середнього значення.

Така кодифікація дозволяє створювати традиційні схеми контролю X – R. Ця процедура має три основні недоліки. По-перше, кожне перетворення є довільним, і різні кодифікації можуть призвести до різних результатів. По-друге, кодифікація вводить поняття відстані між рівнями масштабу, яке спочатку не визначене. По-третє, оскільки початковий розподіл оцінок дискретний з дуже малою кількістю рівнів, центральна гранична теорема навряд чи застосовується до цього контексту.

2.3 Використання спеціальних операторів для опрацювання вибірок вербальних даних

Аналіз вербальних даних може бути виконаний за допомогою спеціальних операторів. [14] Ця методологія заснована на використанні операторів, які не потребують чисельної кодифікації порядкових рівнів шкали. Прийнятим показником розташування є впорядкований емулятор середньозваженого (OWA) середнього арифметичного, вперше введений Ягером та Філевим. Оператор OWA може приймати значення лише в наборі рівнів вихідної порядкової шкали. Відповідна контрольна діаграма будується за методологією, дуже подібною до традиційної діаграми середніх значень. Прийнятою мірою дисперсії є діапазон чинів rS , що визначається як загальна кількість рівнів, що містяться між максимальним та мінімальним значенням вибірки (ранг $r(q)$ - це послідовне ціле число загального рівня q у лінгвістичній шкалі):

$$rS = [r(q)_{\max} - r(q)_{\min}] \quad (2.2)$$

Оператор OWA використовує єдині властивості порядкової шкали, уникаючи синтезу інформації, що міститься у вибірці. Жодних припущень щодо розподілу не існує потрібно щодо сукупності (всесвіту) оцінок.

Як традиційні контрольні схеми, ця нова методологія заснована на використанні двох різних діаграм: одна для замовлених значення вибірки, а інша - для впорядкованих діапазонів вибірки. Ці графіки забезпечують різний аналіз продуктивності звичайної якісної характеристики, що є під рукою. Як наслідок, їх можна будувати і використовувати окремо. Однак для вичерпного аналізу, рекомендується поєднаний підхід.

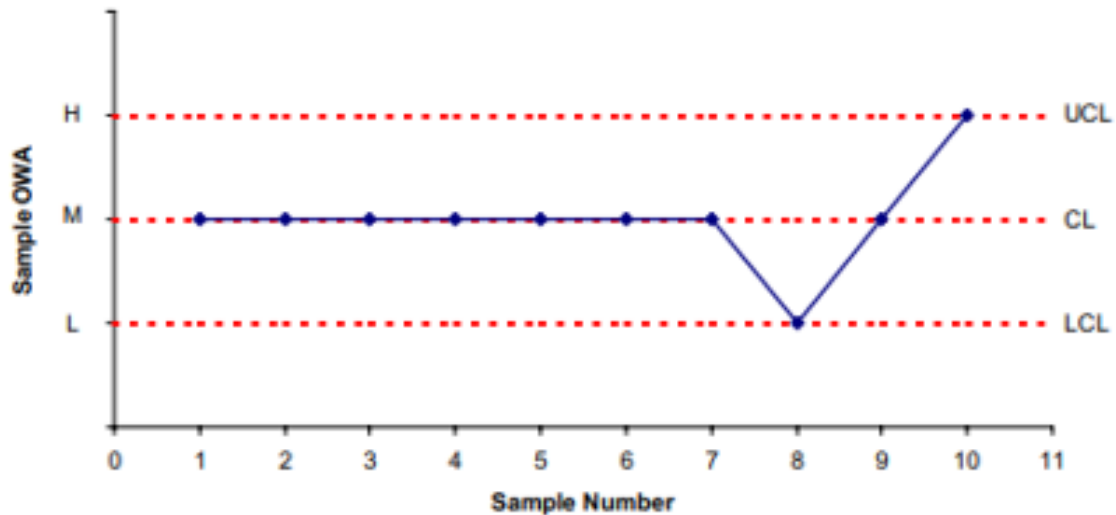


Рисунок 2.2. Діаграми лінгвістичного контролю для емулятора OWA середнього арифметичного та діапазону рангів даних

Емулятор OWA середнього арифметичного був вперше представлений Ягером. Цей оператор зазвичай використовується з лінгвістичними шкалами.

І визначається як:

$$OWA = \max_{k=1}^n [\min\{Q(k), b_k\}] , \text{ де} \quad (2.3)$$

$$Q(k) = S_{f(k)} , \quad K = 1, 2, \dots, n;$$

$$f(k) = \text{Int}\{1 + [k(t-1) / n]\}; \quad (2.4)$$

Int – найближче ціле число;

t – кількість рівнів шкали;

n – об'єм вибірки;

B_k – k-тий елемент вибірки, ранжованої за зменшенням порядку.

Цей оператор OWA, як кажуть, є емулятором середнього арифметичного, оскільки він працює в порядковому середовищі, так само, як середнє арифметичне працює в кардинальному. Він може приймати значення тільки в набір рівнів вихідної порядкової шкали, в той час як чисельна кодифікація цих рівнів може призвести до деяких проміжні середніх значень.

Як приклад, було взято вибірку $t=5$ рівнів, названі S_1, S_2, S_3, S_4 та S_5 , а значень $n=10$, елементи якої, попередньо впорядковані у порядку зменшення, є $\{S_5, S_5, S_5, S_4, S_4, S_3, S_3, S_3, S_2, S_1\}$.

Тоді визначаємо наступне:

$$Q(1) = S_1;$$

$$Q(2) = Q(3) = S_2;$$

$$Q(4) = Q(5) = Q(6) = S_3;$$

$$Q(7) = Q(8) = S_4;$$

$$Q(9) = Q(10) = S_5;$$

Тобто ми маємо:

$$OWA = \text{Max}[\text{Min}\{S_1, S_5\}, \text{Min}\{S_2, S_5\}, \text{Min}\{S_2, S_5\}, \text{Min}\{S_3, S_4\}, \text{Min}\{S_3, S_4\}, \text{Min}\{S_3, S_3\}, \text{Min}\{S_4, S_3\}, \text{Min}\{S_4, S_3\}, \text{Min}\{S_5, S_2\}, \text{Min}\{S_5, S_1\}] = S_3$$

На рисунку 2.3 показано графічне зображення розрахунку OWA. Значення емулятора OWA для середнього арифметичного визначається перетином «наростаючих сходів» (ваг OWA) та «спадаючих сходів» (упорядковані зразкові елементи). [15]

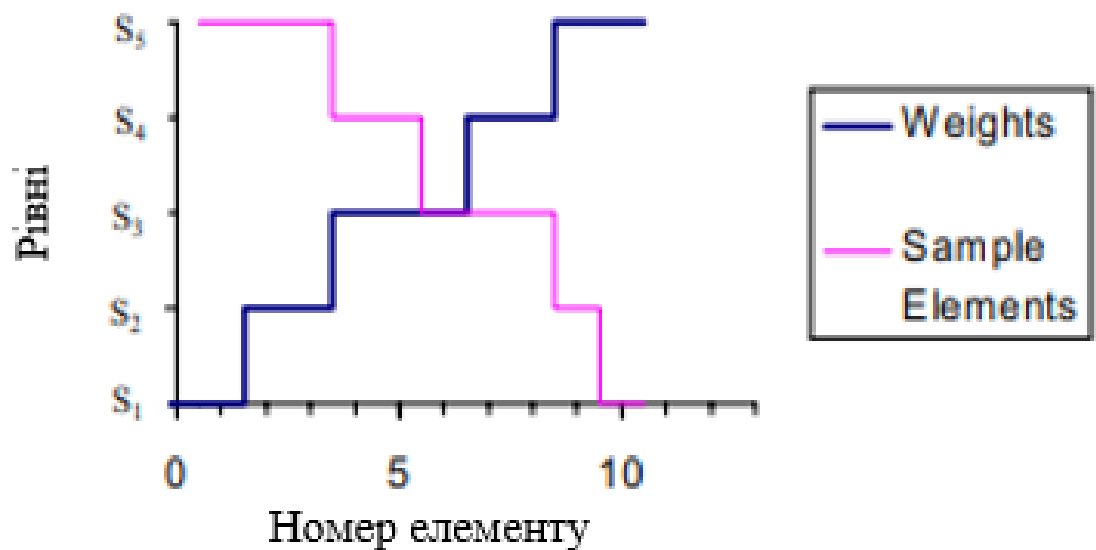


Рисунок 2.3. Графічне зображення розрахунку OWA. Наведено значення емулятора OWA середнього арифметичного перетином «висхідних сходів» (ваги OWA) та «східних сходів» (упорядкованих зразкових елементів)

2.4 Висновки

- Розглянуто два методи опрацювання вербальних вибірок: перший, що заснований на присвоєнні рангів і другий, що заснований на використанні оператора OWA.
- Кодифікація за ранговим методом дозволяє створювати традиційні схеми контролю, ця нова методологія заснована на використанні двох різних діаграм: одна для замовлених значення вибірки, а інша - для впорядкованих діапазонів вибірки. Ці графіки забезпечують різний аналіз продуктивності звичайної якісної характеристики, що є під рукою. Як наслідок, їх можна будувати і використовувати окремо. Однак для вичерпного аналізу, рекомендується поєднаний підхід.

- Встановлено, що ранговий метод має певні недоліки: по-перше, кожне перетворення є довільним, і різні кодифікації можуть призвести до різних результатів. По-друге, кодифікація вводить поняття відстані між рівнями масштабу, яке спочатку не визначене. По-третє, оскільки початковий розподіл оцінок дискретний з дуже малою кількістю рівнів, центральна гранична теорема навряд чи застосовується до цього контексту.
- Встановлено, що емулятор OWA середнього арифметичного зазвичай використовується з лінгвістичними шкалами. Оператор OWA може приймати значення лише в наборі рівнів вихідної порядкової шкали, уникаючи синтезу інформації, що міститься в вибірці, тому в роботі прийняте рішення про удосконалення оцінки центру вибірки за оператором OWA.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Розробка структурної схеми

Відповідно до завдання на проєктування розроблювана система – система визначення рівня шорсткості оброблюваних поверхонь. Така система, яку зображено на рисунку 3.1, складається з наступних блоків:

- 1) Блок операторів (за допомогою тактильного або візуального контролю відбувається порівняння шорсткості із набором відповідних еталонів рівня шорсткості за відношенням еквівалентності);
- 2) Блок передачі (від оператора на блок опрацювання);
- 3) Блок опрацювання вербальних вибірок і обчислення рівня шорсткості
- 4) Блок побудови контрольних карт;
- 5) Блок з еталонними зразками;

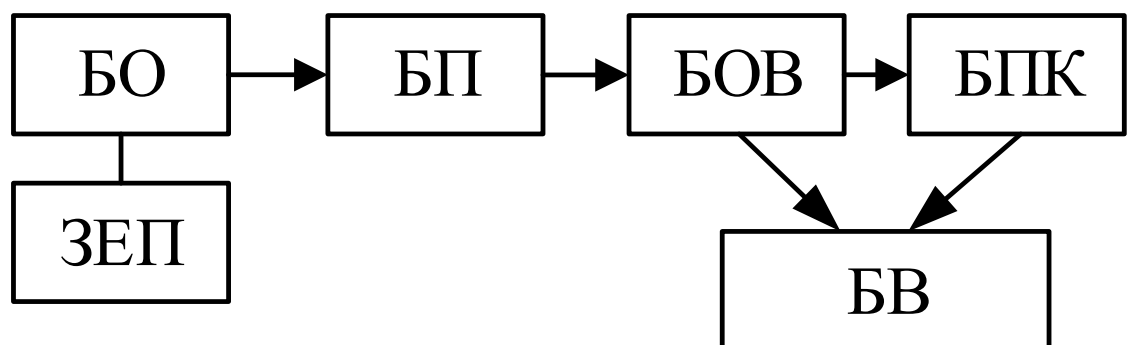


Рисунок 3.1 Структурна схема системи визначення рівня шорсткості

На схемі позначено:

БО - Блок операторів;

ЗЕП – Зразки еталонних рівнів шорсткості поверхонь;

БОВ - Блок опрацювання вербальних вибірок і обчислення рівня шорсткості;

БП - Блок передачі;

БПК - Блок побудови контрольних карт;

БВ - Блок виводу.

Робота блоку операторів виконується наступним чином.

Для кожної контрольованої поверхні складається вербальна вибірка за декількома точками поверхні. В режимі контролю шорсткості однієї поверхні визначається середній рівень шорсткості, в режимі контролю процесу оброблення декількох поверхонь складається контрольна карта.

Серед набору зразків виділяють категорії класів шорсткості у відповідності з обробки поверхні, наприклад, «Грубий – Г», «середній – С», «Точний – Т. З таблиці параметрів шорсткості (таблиця 1.1) : грубий – класи 1-3, середній – класи 4-8, точний – класи 9-14.

Робота блоку передачі проходить наступним чином.

Після визначення класу, до якого належать одна точка об'єкту, оператор (виконуюча особа) зберігає отримані дані шляхом вибору відповідної категорії для об'єкту дослідження у своєму смартфоні. Попередньо встановлюється додаток, у якому при виборі дослідження та відповідної операції, відкривається поле для запису кількості точок та об'єктів для контролю. Після визначення категорії конкретної точки поверхні об'єкту, оператор натискає на позначення категорії, до якої він відніс цю точку. Після завершення контролю, коли буде проаналізовано усі об'єкти для дослідження, програма зберігає дані у таблицю та за допомогою технології Bluetooth передає отримані дані до персонального комп'ютера для подальшої обробки.

Блок опрацювання вербальних вибірок і обчислення рівня шорсткості (БОВ) працює в режимі визначення центральної тенденції вербальної вибірки.

Блок побудови контрольних карт (БПК) працює в режимі побудови контрольної карти.

За допомогою блоку виводу (БВ) подають інформацію за двома режимами роботи.

3.2 Розробка методу опрацювання вербальних даних при оцінюванні рівня шорсткості поверхні

Опрацюванню підлягають поодинокі вибірки вимірювання шорсткості однієї поверхні, за яким визначається центральна тенденція вибірки.

Центральна тенденція визначається за двома критеріями. Якщо при порівнянні результатів оцінювання центральної тенденції вони співпадають, то залишається відповідний клас еквівалентності, але якщо результати відрізняються вводиться проміжний клас еквівалентності.

Для початку дослідження проводиться ранжування вибірки.

ГСССГ \longrightarrow СССГГ;

ТСГСГ, \longrightarrow ТССГГ;

ГССТС, \longrightarrow ТСССГ;

СТССТ \longrightarrow ТТССС.

А далі проводиться опрацювання за обраним алгоритмом.

3.2.1 Опрацювання однієї вербальної вибірки

Класифікувати вербальні вибірки за центральною тенденцією дозволяють такі оператори як емулятор середнього значення вербальної вибірки OWA [5] і медіана вибірки. Оператор OWA визначається як:

$$OWA = \max_{k=1}^n [\min\{Q(k), b_k\}] \quad , \text{ де} \quad (3.1)$$

$$Q(k) = S_{f(k)}, \quad K = 1, 2, \dots, n;$$

$$f(k) = \text{Int}\{1 + [k(t-1) / n]\};$$

Int – найближче ціле число;

t – кількість рівнів шкали;

n – об'єм вибірки;

b_k – k-тий елемент вибірки, ранжованої за зменшенням порядку.

Медіана вибірки – це порядкова статистика яка поділяє навпіл упорядковану сукупність усіх значень вибірки, тобто середнє значення змінюваної ознаки, яке міститься в середині ряду, розміщеного в порядку зростання або спадання ознаки.

Дослідження наведених вище операторів проводилось за наступними етапами: визначення вхідних даних, а саме об'єму вибірки n, кількості t і позначень рівнів шкали або класів еквівалентності; визначення медіани за центральним членом ранжованої вибірки; визначення вагової функції оператора OWA; визначення центральної тенденції вибірки за оператором OWA (формула 3.1); порівняння отриманих результатів[19].

Якщо обрати об'єм вибірки $n=5$, $t=3$ у відповідності з найменуванням класів еквівалентності $S1=\Gamma$; $S2=C$; $S3=C$; $S4=C$; $S5=T$; тоді отримаємо вагову функцію оператора OWA за $f(k)$, $k=1,2,3$, тобто $f(1)=2$, $f(2)=2$, $f(3)=2$; $f(4)=2$;

$f(5)=3$; $Q(k=1)=S1$; $Q(k=2)=S2$; $Q(k=3)=S2$; $Q(k=4)=S2$; $Q(k=5)=S3$. Для першої і другої вибірки табл. 1 отримуємо:

Наступні розрахунки за оператором OWA та медіаною.

- 1) ГГГГГ $med = \Gamma$; $OWA = \max(\min(\Gamma\Gamma), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = \Gamma$;
- 2) СГГГГ $med = \Gamma$; $OWA = \max(\min(\Gamma C), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = \Gamma$;
- 3) ССГГГ $med = \Gamma$; $OWA = \max(\min(\Gamma C), \min(CC), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = C$;
- 4) ССГГГ $med = \Gamma$; $OWA = \max(\min(\Gamma C), \min(CC), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = C$;
- 5) ТГГГГ $med = \Gamma$; $OWA = \max(\min(\Gamma T), \min(CC), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = C$;
- 6) СССГГ $med = C$; $OWA = \max(\min(\Gamma C), \min(CC), \min(CC), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = C$;
- 7) ССССГ $med = C$; $OWA = \max(\min(\Gamma C), \min(CC), \min(CC), \min(CC), \min(T\Gamma)) = C$;
- 8) ССССС $med = C$; $OWA = \max(\min(\Gamma C), \min(CC), \min(CC), \min(CC), \min(TC)) = C$;
- 9) ТГГГГ $med = \Gamma$; $OWA = \max(\min(\Gamma T), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = \Gamma$;
- 10) ТССГГ $med = C$; $OWA = \max(\min(\Gamma T), \min(CC), \min(CC), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = C$;
- 11) ТТГГГ $med = \Gamma$; $OWA = \max(\min(\Gamma T), \min(CT), \min(C\Gamma), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = C$;
- 12) ТТТГГ $med = T$; $OWA = \max(\min(\Gamma T), \min(CT), \min(CT), \min(C\Gamma), \min(T\Gamma)) = C$;

- 13) TTCГГ med = C; OWA= max(min(ГТ), min(CT), min(CC),
min(CT), min(TГ) = C;
- 14) TTTTГ med = T; OWA= max(min(ГТ), min(CT), min(CT),
min(CT), min(TГ) = C;
- 15) TCCCC med = C; OWA= max(min(ГТ), min(CC), min(CC),
min(CC), min(TC) = C;
- 16) TTCCCC med = C; OWA= max(min(ГТ), min(CT), min(CC),
min(CC), min(TC) = C;
- 17) TTTCC med = T; OWA= max(min(ГТ), min(CT), min(CT),
min(CC), min(TC) = C;
- 18) TTTTC med = T; OWA= max(min(ГТ), min(CT), min(CT),
min(CT), min(TC) = C;
- 19) TTTTT med = T; OWA= max(min(ГТ), min(CT), min(CT),
min(CT), min(TT) = T;

Результати визначення центральної тенденції за медіаною та оператором OWA наведені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Оцінювання центральної тенденції вербальних вибірок

<i>Досліджувані вибірки</i>	<i>Центральна тенденція</i>		
	<i>За медіаною</i>	<i>За оператором OWA</i>	<i>За двома способами</i>
ГГГГГ	Г	Г	Г
СГГГГ	Г	Г	Г
ТГГГГ	Г	Г	Г
ССГГГ	Г	С	НГ
ТСГГГ	Г	С	НГ
ТТГГГ	Г	С	НГ
СССГГ	С	С	С
ССССГ	С	С	С
ССССС	С	С	С
ТССГГ	С	С	С
ТТСГГ	С	С	С
ТСССГ	С	С	С
ТТССГ	С	С	С
ТТТГГ	Т	С	НТ
ТТТСС	Т	С	НТ
ТТТСГ	Т	С	НТ
ТТТТГ	Т	Т	Т
ТТТТС	Т	Т	Т
ТТТТТ	Т	Т	Т

За проведеним моделюванням можна зазначити наступне. Результати визначення центральної тенденції за медіаною і оператором OWA не завжди співпадають. Це пояснюється тим, що медіана нечутлива до змін крайніх членів впорядкованої вибірки, а емулятор середнього арифметичного за

вербальною вибіркою OWA навпаки чутливий. Це призводить до того, що при наявності відхилень на краях вибірки за оператором OWA центральна тенденція зміщується в бік відхилення, в результаті чого збільшується кількість вибірок, класифікованих за середнім класом еквівалентності, що видно на таблиці 1. Що до оцінки за медіаною, то її не рекомендують для застосування при антимодальному розподілі членів вибірки[20].

Так як обидві оцінки не є універсальними, то для підвищення точності визначення центральної тенденції вербальної вибірки запропоновано використати два способи визначення центральної тенденції: за медіаною і за оператором OWA. В тих випадках, коли результати визначення центральної тенденції не співпадають (знаходяться в сусідніх класах еквівалентності) запропоновано використовувати проміжні класи еквівалентності у відповідності з наведеними вище рівнями шорсткості: грубий (Г), напівгрубий (НГ), середній (С), напівточний (НТ), точний (Т). Це відображено в останньому стовпці таблиці 3.1.[21]

3.2.2 Розробка алгоритму опрацювання вербальної вибірки

Тоді до алгоритму опрацювання вибірки вербальних даних входять наступні етапи: ранжування вибірки за порядком спадання якості оброблення, визначення центральної тенденції за оператором OWA і медіаною, об'єднання результатів визначення центральної тенденції і визначення кінцевого рівня шорсткості.

Опрацювання вербальної вибірки відбувається як показано на рисунку 3.2.

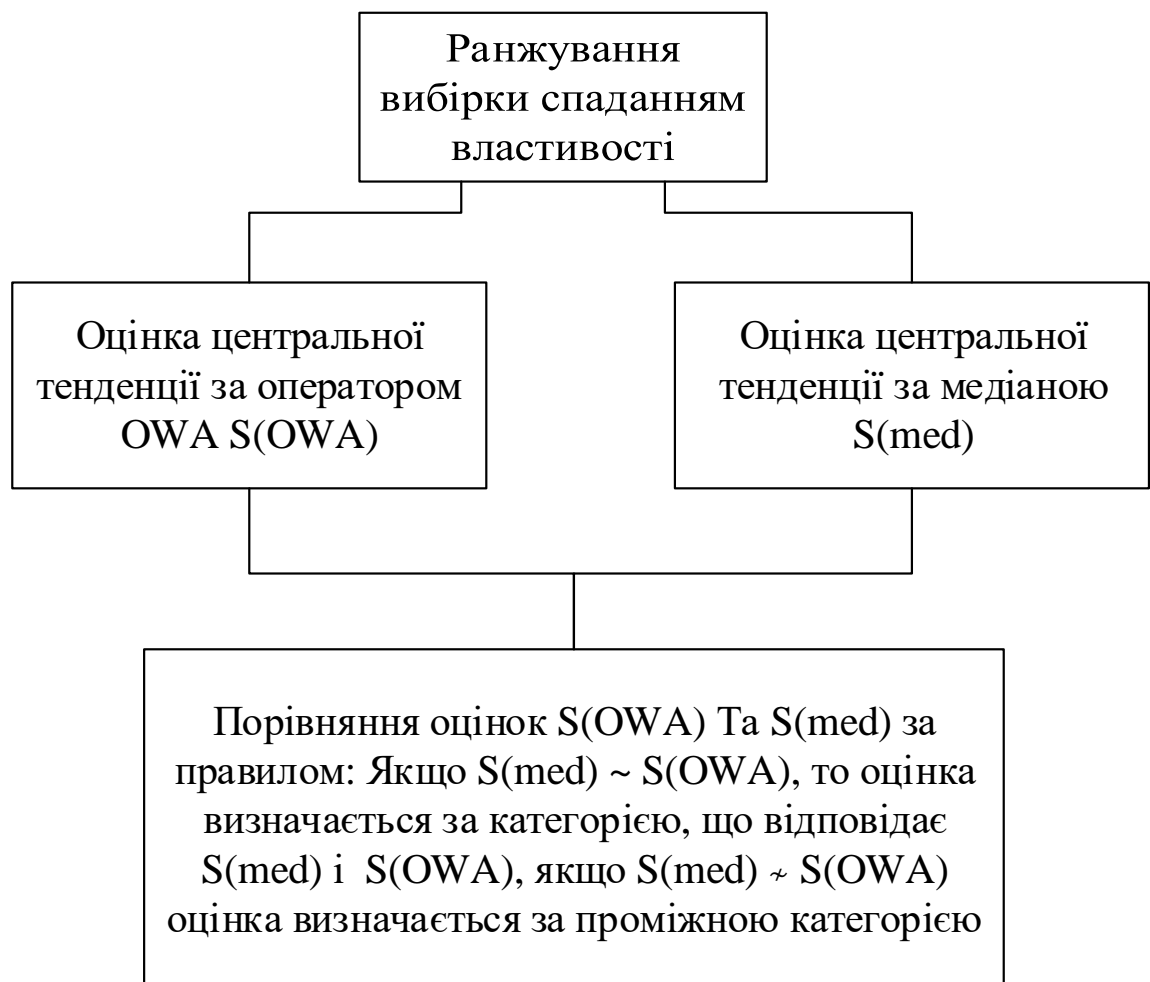


Рисунок 3.2 Опрацювання вербальної вибірки

3.3 Алгоритм функціонування системи в режимі визначення рівня шорсткості

Алгоритм функціонування системи визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 Алгоритм функціонування системи

Опис роботи алгоритму визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь.

- По черзі обираються об'єкти, що знаходяться на конвеєрі;
- Кожен об'єкт піддається 5 вимірювання рівня шорсткості, порівнюється з етлонним зразком, після цього досліджувач робить свої висновки;
- За результатами огляду і тактильного контролю на телефоні натискається клавіша з відповідною величиною;
- Дані передаються на персональний комп'ютер через блютуз.
- За цими даними будується таблиця з отриманих виборок;
- Ці вибірки потрібно проранжувати за порядком спадання від найкращого до найгіршого;
- З отриманих проранжованих виборок визначається центральна тенденція за медіаною та за емулятором OWA;
- Для отримання значення за емулятором OWA проводиться розрахунок вагової функції та згортка цієї функції;
- Проводиться порівняння центральних тенденцій за двома операторами;
- Якщо центральна тенденція співпадає з розрахунком за оператором OWA – рівень шорсткості належить до одного із класів еквівалентності (Т,С,Г).
- Якщо центральна тенденція не співпадає з розрахунком за оператором OWA - рівень шорсткості відносять до одного із проміжних класів – напівточний (НТ), або напівгрубий (НГ).

3.4 Загальний алгоритм побудови контрольної карти

Загальний алгоритм побудови контрольної карти рис.3.4 розглянуто в [17]



Рисунок 3.4 Алгоритм побудови контрольної карти

За цим алгоритмом:

- 1) Визначаються показники процесу або продукції, які необхідно вимірювати. Показники можуть мати кількісні або якісні значення.
- 2) Визначаються точки контролю показника. По можливості, точки контролю необхідно встановлювати на найбільш ранній стадії процесу, де обраний показник може бути виміряний.
- 3) На підставі виду контрольованих показників (контроль за кількісним або альтернативною ознакою) вибирається відповідна контрольна карта.
- 4) Коли застосовується контроль за кількісним або альтернативною ознакою частина послідовних в часі вимірювань (приблизно від 3 до 5) може мати близькі значення. Ці вимірювання формуються в підгрупу. Кількість вимірювань, які увійшли в підгрупу, називається розміром підгрупи. Необхідно встановити розмір підгрупи.
- 5) Проводяться вимірювання обраного показника процесу або продукту.
- 6) На контрольній карті відображаються результати вимірювань (для контролю за кількісною ознакою) або сумарні (комплексні) значення (для контролю за альтернативною ознакою) показників.
- 7) Точки графіка з'єднуються між собою.
- 8) Розраховується лінія середніх значень, і обчислюються контрольні границі. Залежно від того, які контрольні карти застосовуються, формули розрахунку контрольних меж і їх кількість може змінюватися (наприклад, для карти розмаху досить розрахувати тільки верхню контрольну границю).
- 9) Лінія середніх значень і контрольні границі відображаються на контрольній карті.
- 10) Визначаються всі точки, що виходять за межі контрольних границь.

- 11) Проводиться аналіз причин виходу значень контрольованих показників за межі контрольних меж і напрямку зсуву підгруп щодо лінії середніх значень. При необхідності робляться коригувальні дії.

3.5 Дослідження розрізняльної здатності

Розрізняльна здатність визначається за кількістю розрізнявальних класів еквівалентності, яка в свою чергу залежить від кількості можливих комбінацій категорій у вербальних вибірках. Кількість можливих комбінацій збільшується при збільшенні n і t . Для розрізнення вербальних вибірок використовується ще один критерій, а саме – критерій домінування вибірок. Так як частина вибірок залишається нерозрізненою, навіть при використанні критерія домінування, кількість розрізняваних класів еквівалентності менша за кількість розрізнявальних комбінацій. Результати дослідження розрізняльної здатності наведені у таблиці 3.2.

Зважаючи на обмежену розрізняльну здатність при візуальному контролі або експертному оцінюванні (максимальне значення розрізняваних градацій або рівнів дорівнює 7), обмежились кількістю розрізняваних рівнів 3,5,7. Крім того, об'єм вибірки було збільшено для отримання стійкого значення центральної тенденції. Задачею дослідження була класифікація вербальних вибірок за центральною тенденцією. Для визначення центральної тенденції використовувались два способи: за медіаною вибірки і за оператором OWA. Щоб отримати однозначну оцінку за медіаною вибірки, кількість елементів вибірки була непарною.

Дослідження проводилось за наступними етапами: визначення вхідних даних, а саме об'єму вибірки n , кількості t і позначень рівнів шкали або класів еквівалентності; визначення медіани за центральним членом ранжованої вибірки; визначення вагової функції оператора OWA; визначення центральної

тенденції вибірки за оператором OWA (формула 1.1); порівняння отриманих результатів.

Таблиця 3.2

Результати дослідження розрізняльної здатності

Об'єм вибірки, n	Кількість встановлених класів еквівалентності при візуальному контролі, t	Кількість розрізнявальних класів при визначенні центральної тенденції	Кількість можливих комбінацій при формуванні вибірки
3	3	5	10
3	5	9	85
5	3	5	21
5	5	9	126
7	3	5	36
7	5	9	330

Підвищуємо розрізняльну здатність операторів, збільшуючи кількість класів еквівалентності до $t=5$ за рахунок двох проміжних класів. Тоді $S1=L$; $S2=LM$; $S3=M$; $S4=MN$; $S5=N$; і при $n=3$ та $t=5$ збіжність результатів за медіаною і оператором OWA збільшується. Потім збільшуємо об'єми вибірок. Результати обчислень наведено в таблиці 3.2.

На основі отриманих в таблиці 3.2 результатів дослідження можна зробити наступні висновки:

При об'ємах вибірок $n=3$ і кількості градацій вербальної шкали оцінювання $t=3$ на результати визначення центральної тенденції за оператором OWA суттєво впливає ступінчастість вагової функції, і це приводить до розбіжностей між результатами, отриманими за медіаною вибірки і оператором OWA, причому перевагу треба віддати медіані вибірки.

Розрізняльна здатність оператора OWA збільшується при збільшенні об'єму вибірки і кількості вербальних градацій шкали оцінювання, причому більша збіжність результатів, отриманих двома способами, спостерігається при збільшенні вербальних градацій шкали оцінювання при одному і тому об'ємі вибірки.

Найбільший ефект відповідності оцінок центральної тенденції за медіаною і оператора OWA спостерігається при пропорційному збільшенні і об'єму вибірки і кількості градацій вербальної шкали оцінювання, причому перевагу у цьому випадку має оцінювання центральної тенденції за оператором OWA.

3.6 Моделювання процедури побудови контрольної карти

Проведемо моделювання процедури побудови контрольної карти для 20 об'єктів.

Кількість об'єктів $N = 20$, $n = 5$ – об'єм вибірки, кількість градацій вербальної шкали оцінювання $t=3$.

Генератор випадкових чисел задає номери виборок.

Рівномірно розподіляємо випадкові числа (номери виборок) та відносимо до певного рівня.

Номери вибірок із загального переліку вибірок:

1, 4, 8, 10, 12, 7, 3, 9, 6, 7, 10, 11, 8, 9, 10, 6, 8, 7, 5, 1.

Результати такого моделювання наведено нижче.

- 1. ГГГГГ → Г
- 4. ССГГГ → НГ
- 8. ССССГ → С
- 10. ТССГГ → С
- 12. ТСССГ → С
- 7. СССГГ → С
- 3. ТГГГГ → Г
- 9. ССССС → С
- 6. ТТГГГ → НГ
- 7. СССГГ → С
- 10. ТССГГ → С
- 11. ТТСГГ → С
- 8. ССССГ → С
- 9. ССССС → С
- 10. ТССГГ → С
- 6. ТТГГГ → НГ
- 8. ССССГ → С

7. СССГГ \longrightarrow С
 5. ТСГГГ \longrightarrow НГ
 1. ГГГГГ \longrightarrow Г

Таблиця 3.3

Визначення класів еквівалентності для побудови контрольної карти

Класифікація за оператором OWA і медіаною	Класифікація за критерієм домінування	Клас еквівалентності
Г	ГГГГГ	1
	ГГГГГ	
	ТГГГГ	2
НГ	ССГГГ	3
	ТСГГГ	4
	ТТГГГ	5
	ТТГГГ	
С	СССГГ	6
	СССГГ	
	СССГГ	
	ССССГ	7
	ССССГ	
	ССССГ	
	ССССС	
	ССССС	
	ТССГГ	8
	ТССГГ	
	ТССГГ	
	ТСССГ	
	ТТССГ	

Якщо процес випробування знаходяться в стані статистичної керованості, то приблизно 99.97% значень результатів потраплять у межі 3σ . Імовірність того, що явний вихід за контрольні межі є випадковою подією, а не реальний сигнал про невідповідність, вважають настільки малою, що з появою точки поза межами треба ввести коригуючі дії, та можливо відкликати результати випробувань[18]. Саме тому межі 3σ називають „межами дій”. Часто на контрольній карті ще проводять межі на відстані 2σ від центральної лінії. Тоді, значення що попадають за межі 2σ можуть служити застереженням про можливість виходу випробувань з стану статистичної керованості. Тому межі 2σ часто називають „попереджувальними”.[26]

Якщо ми маємо 20 вибірок, то медіана сукупності вибірок знаходиться між 10 та 11 вибірками. На рисунку 3.6 позначена зеленим кольором. Попереджувальні нижню та верхню границі відповідно – блакитним, а контрольні – червоним кольорами.

Оскільки медіана вибірки знаходить між 10 та 11 вибірками це відповідає – СССГГ.

Розрахуємо довірчий інтервал для медіани $P = 0,95$

Попереджувальні границі при:

$$P = 0,95 ;$$

Контрольні границі при:

$$P = 0,997 ;$$

Нижня границя визначається за номером вибірки в сукупності вибірок (формула 3.2):

$$y = \frac{(n+1 - Z_p \sqrt{n})}{2} \quad (3.2)$$

Верхня границя визначається за номером вибірки в сукупності вибірок (формула 3.3):

$$B = \frac{(n+1 + Z_p \sqrt{n})}{2} \quad (3.3)$$

«У» при $P = 0,95$ відповідає значенню № 6. Згідно таблиці 3.3 відповідає класу еквівалентності 5.

«В» при $P = 0,95$ відповідає значенню 15. Згідно таблиці 3.3 відповідає класу еквівалентності 7.

Для $P = 0,997$, «В» = 18, що відповідає класу еквівалентності 8.

Для $P = 0,997$, «У» = 3, що відповідає класу еквівалентності 2.

Верхня контрольна границя (Т) та нижня контрольна границя (НГ) – це межі значень характеристики під контролем.

Результати, що не задовольняють контрольним границям – вважаються не якісними.

Попереджувальними границями можна вважати

Якщо НГ – нижня контрольна границя, то точки 1, 7, 20 виходять за межі контрольної границі.

Алгоритм побудови контрольної карти за результатами дослідження 20 вибірок представлено на рисунку 3.5

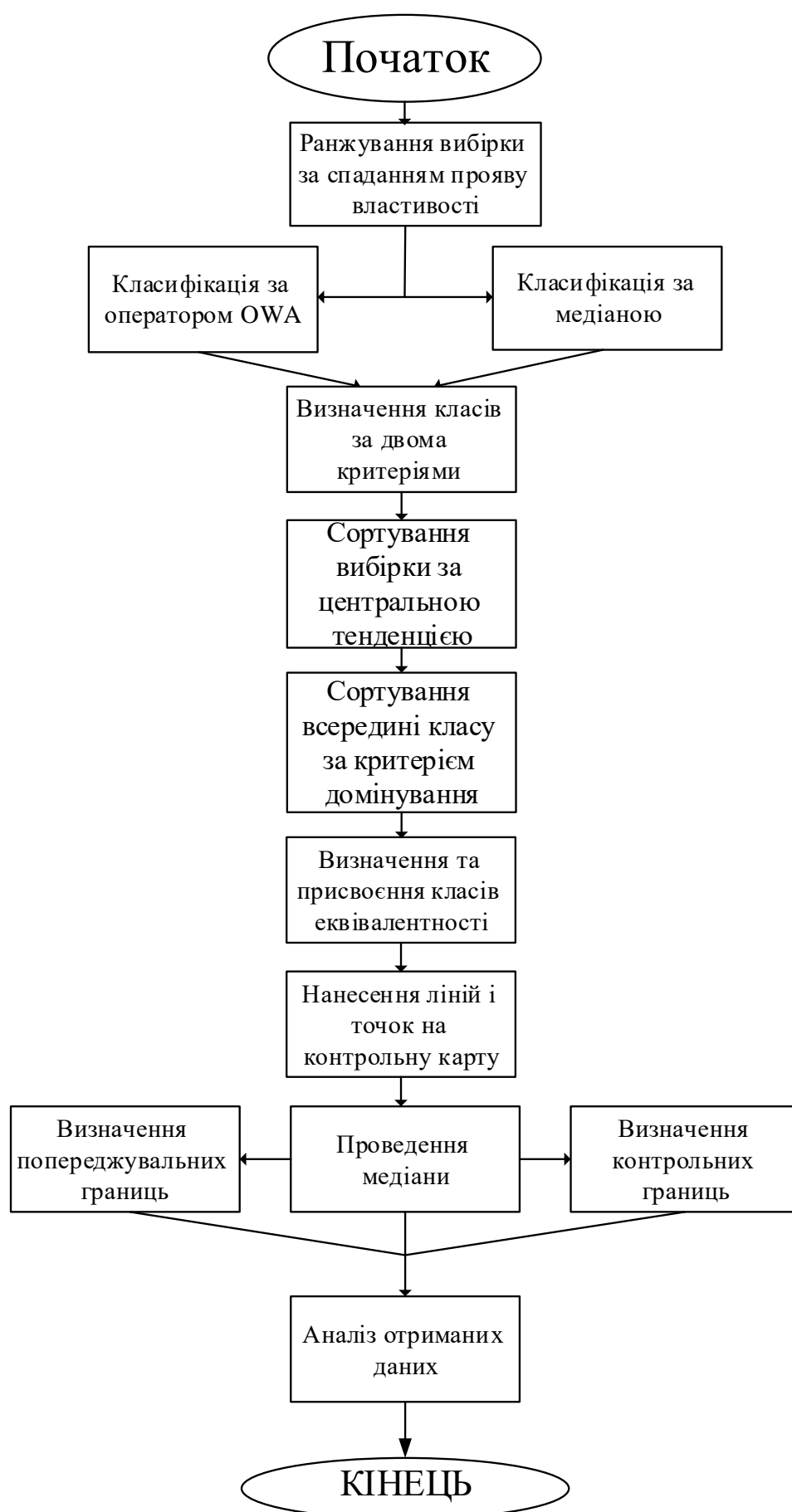


Рисунок 3.5 Алгоритм побудови контрольної карти

За представленим алгоритмом, будемо контрольну карту. Наносимо точки та проводимо лінії контрольних та попереджувальних границь, а також проводимо лінію медіани вибірки.

Контрольна карта оцінки якості обробки представлена на рисунку 3.6

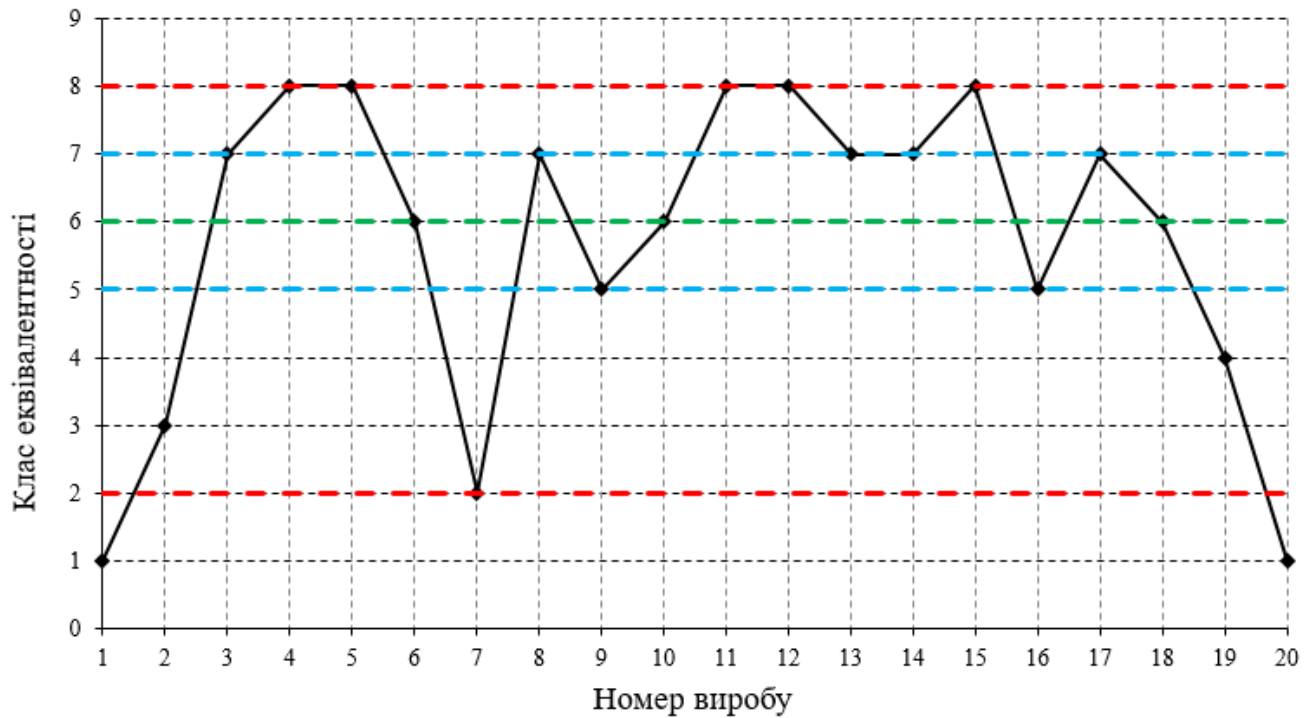


Рисунок 3.6 Контрольна карта оцінки якості обробки

3.7 Висновки

- Розроблено структурну схему системи вимірювання рівня шорсткості оброблених поверхонь.
- Розроблена система може функціонувати в двох режимах: 1) в режимі контролю шорсткості однієї поверхні визначається середній рівень шорсткості; 2) в режимі контролю процесу оброблення декількох поверхонь складається контрольна карта.

- У цьому розділі розроблено алгоритм роботи системи з визначення рівня шорсткості поверхонь на основі візуального і тактильного контролю.
- Рівень шорсткості визначається за центральною тенденцією вербальної вибірки, яка складається з результатів багаторазових порівнянь шорсткості поверхні деталі з шорсткістю поверхні еталонних зразків. Проаналізовано результати визначення центральної тенденції вербальної вибірки за медіаною вибірки і емулятором середнього арифметичного для вербальної вибірки OWA.
- Запропоновано об'єднання результатів визначення центральної тенденції за двома операторами в алгоритмі опрацювання вербальних даних системи з визначенням проміжних класів еквівалентності.
- У ході роботи було досліджено, що розрізняльна здатність оператора OWA збільшується при збільшенні об'єму вибірки і кількості вербальних градацій шкали оцінювання, причому більша збіжність результатів, отриманих двома способами, спостерігається при збільшенні вербальних градацій шкали оцінювання при одному і тому об'ємі вибірки.
- Проведено моделювання процедури побудови контрольної карти з визначенням попереджувальних і контрольних границь для 20 об'єктів, після чого було побудовано контрольну карту технологічного процесу.

РОЗДІЛ 4. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Розробка метрологічного забезпечення

Особливістю метрологічного забезпечення вимірювання рівня шорсткості є те, що вимірювання проводять за шкалою квазіпорядку, тобто за послідовністю впорядкованих класів еквівалентності. Тому для перевірки правильності встановлення рівнів шорсткості використовуються таблиці “R x C” [8] для випадку, коли дві змінні класифіковані на дві або більше категорій.

n_{11}	n_{12}	\dots	n_{1c}	$n_{1\cdot}$
n_{21}	n_{22}	\dots	n_{2c}	$n_{2\cdot}$
\vdots				
n_{r1}	n_{r2}	\dots	n_{rc}	$n_{r\cdot}$
$n_{\cdot 1}$	$n_{\cdot 2}$	\dots	$n_{\cdot c}$	n

Де n_{11} – об’єкт першого сорту, класифікований за першим сортом.

Одна змінна – це результати визначення рівня шорсткості тактильним або візуальним методом, друга змінна – результати визначення рівня шорсткості того ж виробу еталонним засобом вимірювання.

За цією таблицею визначається рівень зв’язку між отриманими даними. Якщо отримані результати повністю відповідають еталонним, то рівень зв’язку дорівнює одиниці, якщо повністю не відповідають, то дорівнює нулю. Для обчислення рівня зв’язку можна використати міру Чупрова T:

$$T = \left\{ \frac{x^2}{n[(r-1)(c-1)]^{1/2}} \right\}^{1/2}, \text{ де} \quad (4.1)$$

$$x^2 = n \left[\sum_{i,j} \frac{n_{i,j}^2}{n_{i\cdot} \times n_{\cdot j}} - 1 \right] \quad (4.2)$$

n_{ij} – частота в комірці на перерізі i-го рядка та j-го стовпця.

Нехай проведено метрологічний контроль в 20 точках поверхні і отримано наступні результати (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Порівняння результатів отриманих за візуальним контролем та контролем за еталонним приладом

N	Рівень шорсткості за тактильним або візуальним контролем	Рівень шорсткості за еталонним приладом
1	C	C
2	C	C
3	C	Г
4	C	C
5	Г	Г
6	Г	Г
7	C	C
8	Г	C
9	C	C
10	Г	Г
11	C	Г
12	C	C
13	Г	Г
14	C	C
15	C	C
16	C	T
17	T	T
18	T	T
19	T	C
20	T	T
21	T	T
22	C	C
23	T	T
24	T	C
25	T	T

Якщо при метрологічному контролі отримано дані, наведені в табл. 4.1, то таблиця $R \times C$ має вигляд:

Із результатів, представлених у таблиці 4.1, отримано:

$$n_{ГГ} = 4 ;$$

Тобто 4 елементи вибірки за візуальною та повірною оцінкою класифіковано до «грубого» класу еквівалентності.

За цим принципом:

$$n_{ГС} = 1 ;$$

$$n_{ГТ} = 0 ;$$

$$n_{СТ} = 2 ;$$

$$n_{СС} = 9 ;$$

$$n_{СТ} = 1 ;$$

$$n_{ТГ} = 0 ;$$

$$n_{ТС} = 2 ;$$

$$n_{ТТ} = 6 ;$$

За цими результатами сформовано таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Порівняння результатів отриманих за візуальним контролем та контролем за еталонним приладом

Рівень за еталонним приладом Рівень За візуальним контролем	Г	С	Т	Сума
Г	4	1	0	5
С	2	9	1	12
Т	0	2	6	8
Сума	6	12	7	25

За формулою 4.2 розраховано наступне:

$$\sum_{\substack{i=3 \\ j=3}} \frac{n_{ij}^2}{n_{i.} \times n_{.j}} = \frac{4^2}{5 \times 6} + \frac{1^2}{5 \times 12} + \frac{2^2}{6 \times 12} + \frac{9^2}{12 \times 12} + \frac{1^2}{7 \times 12} + \frac{2^2}{8 \times 12} + \frac{6^2}{7 \times 8} = 0,532 + 0,017 + 0,056 +$$

$$+ 0,563 + 0,012 + 0,042 + 0,643 = 0,865$$

$$X^2 = 21,63 ;$$

$$T = \left(\frac{0,865}{2} \right)^{1/2} = 0,66$$

Дисперсія оцінювання коефіцієнта зв'язку:

$$DT = 1 / \{ n [(r-1)(c-1)]^{1/2} \} = 0,02$$

Стандартна невизначеність $u(T) = 0,14$.

Тобто об'єм вибірки достатній, але багато висновків про рівень шорсткості не співпадають (6 з 25).

4.2 Висновки

В стандартах з візуального контролю встановлено, що потрібна періодична перевірка правильності візуального контролю за допомогою еталонних засобів вимірювання рівня шорсткості оброблених поверхонь.

Оскільки шорсткість поверхні – ординальна величина, перевірка правильності проводиться відповідно до таблиць зв'язку між категоризованими даними.

В якості міри зв'язку використано метрику Чупрова з оцінкою невизначеності.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ»

5.1 Опис ідеї проєкту

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап-проєкту, що в свою чергу визначає принципові можливості його впровадження на ринку та можливі напрямки реалізації цього впровадження. Ідея стартап-проєкту даної магістерської дисертації полягає в продажі ліцензії на систему для визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь.

Основною метою роботи є розробка алгоритму опрацювання даних, отриманих при багаторазових спостереженнях рівня шорсткості, який реалізується в системі визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь. Цілісне уявлення про зміст ідеї, потенційні ризики та можливість реалізації даної ідеї наведені нижче у вигляді таблиць.

Шорсткість поверхні відноситься до ординальних величин. Ординальна величина- величина, що визначена за узгодженою процедурою, для якої загальне відношення порядку може бути встановлене у відповідності із розміром по відношенню до однорідних величин, але для якої не існує ніяких алгебраїчних операцій.

Шорсткість вимірюється в декількох точках вимірюваної поверхні, таким чином ми отримуємо вибірку. За отриманими результатами після цих вимірювань, данні із виборок можна віднести до певного вербального класу.

Таблиця 5.1

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Продаж ліцензії на використання системи визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь з використанням комплексного підходу	1. Використання на підприємстві при контролі якості оброблення деталей та виробів.	За рахунок використання данної системи значно краще контролюється приналежність до певного класу.
	2. Використання у власних цілях, у якості навчання у ВНЗ.	Практичне виконання лабораторних робіт для вирішення метрологічних задач.

Інформаційну карту розроблюваного стартап- проекту представлена нижче.

1. Назва проекту	Система визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь
2. Автори проекту	Шумілін Андрій Геннадійович
3. Коротка анотація (не більше 1/3 сторінки)	При визначенні рівня шорсткості поверхонь після механічної обробки використовується їх візуальний контроль, за яким на основі результатів багаторазових спостережень отримують вербальну вибірку, що характеризує якість обробки поверхні. В роботі розглянуто алгоритм роботи системи визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь, що заснований на знаходженні центральної тенденції вибірки вербальних даних.

4. Термін реалізації проєкту	6 місяців
	<i>Тривалість проєкту (в місяцях)</i>

5. Необхідні ресурси	- Інтелектуальні ; - Матеріальні: еталонні зразки, пристрій передачі даних.
	<i>Перелік усіх необхідних ресурсів (фінансових, матеріальних інтелектуальних та ін.)</i>
6. Опис проблеми, яку вирішує проєкт	Встановлено, що особливістю шорсткості поверхні є те, що вона відноситься до ординальних величин, тобто потребує певної градації у конкретних умовах. Алгоритм системи, розглянутої у проєкті дозволяє значно підвищити точність при вимірюванні рівня шорсткості та відношення до повного класу еквівалентності.

8. Головні цілі та завдання проєкту	Основними цілями використання системи визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь є: <ul style="list-style-type: none"> • Підвищити продуктивність визначення якості обробки механічної поверхні ; • Зменшити похибку при визначенні класу еквівалентності ; • Надати якості дані з результату вимірювання рівня шорсткості.
-------------------------------------	--

9. Очікувані результати

(Описати позитивні зміни, які відбудуться в результаті реалізації проєкту після його завершення та в довгостроковій перспективі)

В результаті реалізації проєкту визначення рівня шорсткості оброблених делатей стане значно продуктивнішим та більш точним, при визначення класу приналежності до певного класу еквівалентності.

Для визначення економічно-технічних переваг ідеї проєкту її необхідно порівняти із ринковими пропозиціями конкурентів. Аналогами даної ідеї є інші ефективні методи та засоби вимірювання рівня шорсткості. Використання кожного підходу має переваги та недоліки. Для звичайного користувача варіативність підходу має вагоме значення, особливістю є саме те, що зменшується вірогідність помилки при розподіленні та приналежності до першого класу еквівалентності при вимірювання рівня шорсткості поверхні.

Для порівняння переваг на недоліків у використанні різних підходів, дані наведено у таблиці 5.2

Проведемо аналіз актуальних методів за якими проводиться вимірювання рівня шорсткості.

Таблиця 5.2

Визначення сильних та слабких сторін методів вимірювання шорсткості

№ п/п	Метод	Принцип дії	Плюси	Мінуси
1	Метод порівняння з еталонними зразками	Порівняння реальної поверхні виробу з робочими зразками шорсткості, які мають стандартизовані значення	- Швидкість порівняння; - Можливість порівняння без споміжної апаратури	- Неточність при порівнянні - Необхідність додаткової оцінки
2	Контактний метод	Супортові прилади із голчастими вимірювальними головками (профілометрами, профілографами)	- Більш точний за рахунок вимірювання чутливою голкою приладу	- Час вимірювання та отримання результату
3	Безконтактний метод	За допомогою оптичних засобів вимірювання (мікроскопів, мікроінтерферометрів).	- Швидкість вимірювання; - Технічна новизна	- Необхідність у технічному обладнанні робочого місця
4	Метод, представлений у роботі	Комплексний підхід із використанням оператора OWA і медіаною	- Точність - Швидкість - Прогресивність технології	- Потребує розрахунків

Така порівняльна таблиця показує, що зважаючи на перелік слабких та сильних сторін даного товару є підґрунтя для формування його як конкурентоспроможного.

Через високий рівень конкуренції існують певні засади для виходу на ринок, представлені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3
Бар'єри проникнення

Економія на масштабах	Відсутність впливу економії на масштабах
Патент на продукт	На дану систему є можливість оформити патент, що не дозволить вільне використання без дозволу на це автора.
Наявність товарних знаків	Товарні знаки відсутні.
Розмір капіталовкладень	Капіталовкладення зводяться до мінімуму, за відсутності розробки патенту.
Переваги у затратах виробництва	При використанні на виробництві значно спрощується масштаб робіт, адже необхідні розрахунки виконуються за допомогою програмного забезпечення
Доступ до ресурсів	Не використовує ресурси, бо є інтелектуальною власністю
Законодавчі обмеження	У рамках дії патенту

Використання патенту дещо збільшує витрати, проте надає повне право на комерцію, а оскільки актуальність системи залишається донині, цілком логічним є оформлення патентного права.

Деякі фактори, які впливають на конкурентноспроможність проєкту наведено у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Фактори конкурентноспроможності

Динаміка галузі	Галузі, які використовують системи для вимірювання рівня шорсткості актуальні до сьогодення
Постійні витрати	Постійні витрати відсутні. Продовження дії патенту не є постійною витратою
Продуктова лінія	Можливе вдосконалення алгоритмів вимірювання та розрахунку.
Змінні витрати	Відсутні
Рівень концентрації	Мінімальний
Інформаційне забезпечення	Немає необхідності у володінні додатковими матеріалами.

Виходячи з цих даних, можна зробити висновок, що продукт є рентабельним і здатний охопити частину ринку, та зайняти свою нішу. Однак у майбутньому, можливо, буде потребувати вдосконалення.

Проте, продукт, що описано в дисертації має пряму залежність від користувача, тобто необхідні певні навички задля покращення продуктивності праці(таблиця 5.5).

Таблиця 5.5

Фактори, що обумовлюють силу покупця

Розмір закупівель	Мінімальний
Змінні витрати	Відсутні
Система інформації	Інформація для використання буде подана прозоро та зрозуміло.
Чутливість до зміни ціни	Відсутня
Контроль якості	Реалізує сам клієнт

Проаналізувавши таблицю 5.5 можна заключити, що на фоні усіх переваг, нейтральною стороною є фактор системи інформації, що потребує

вивчення методичної практики від користувача. Матеріал подається доступно та зрозуміло, що покращує оцінку контролю якості.

5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Аудит технології дозволяє з'ясувати, яким чином можна реалізувати ідею проєкту. Інформація щодо ідей проєкту представлена у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Виконати об'єднання медіани та емулятора OWA	Дослідження та використання	Є необхідність дослідження емулятора OWA	Технологія доступна усім, за умови необхідності в ній розібратись
2	Створення класів еквівалентності	Використання	Нема необхідності розробляти нові технології	Технологія доступна усім, за умови необхідності в ній розібратись

Кодифікація за ранговим методом дозволяє створювати традиційні схеми контролю, ця нова методологія заснована на використанні двох різних діаграм: одна для замовлених значення вибірки, а інша - для впорядкованих діапазонів вибірки. Ці графіки забезпечують різний аналіз продуктивності звичайної якісної характеристики, що є під рукою. Як наслідок, їх можна будувати і використовувати окремо. Однак для вичерпного аналізу, рекомендується поєднаний підхід.

Ранговий метод має певні недоліки: по-перше, кожне перетворення є довільним, і різні кодифікації можуть призвести до різних результатів. По-друге, кодифікація вводить поняття відстані між рівнями масштабу, яке спочатку не визначене. По-третє, оскільки початковий розподіл оцінок дискретний з дуже малою кількістю рівнів, центральна гранична теорема навряд чи застосовується до цього контексту.

Емулятор OWA середнього арифметичного зазвичай використовується з лінгвістичними шкалами. Оператор OWA може приймати значення лише в наборі рівнів вихідної порядкової шкали, уникаючи синтезу інформації, що міститься в вибірці, тому в роботі прийняте рішення про удосконалення оцінки центру вибірки за оператором OWA.

Технічна реалізація ідеї проєкту можлива завдяки технологіям та матеріалам, що присутні на ринку.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Для прогнозування напрямів розвитку проєкту із урахуванням відповідності ринку, пропозицій проєктів-конкурентів та актуальності потреб потенційних клієнтів, необхідно визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження даного проєкту, та дослідження ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проєкту.

Нижче представлена умовна характеристика потенційного ринку стартап проєкту.(таблиця 5.7)

Таблиця 5.7

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Мінімальна.
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Не розраховувався
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнація
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до ДСТУ, ISO
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Не розраховувалися

Виходячи з результатів наведеної таблиці, можна зробити висновок, що є необхідність данної розробки задля покращення точності при вимірюваннях рівня шорсткості оброблених поверхонь.

Рівень шорсткості визначається за центральною тенденцією вербальної вибірки, яка складається з результатів багаторазових порівнянь шорсткості поверхні деталі з шорсткістю поверхні еталонних зразків. Проаналізовано результати визначення центральної тенденції вербальної вибірки за медіаною вибірки і емулятором середнього арифметичного для вербальної вибірки OWA. Запропоновано об'єднання результатів визначення центральної тенденції за двома операторами в алгоритмі опрацювання вербальних даних системи з визначенням проміжних класів еквівалентності.

Виходячи з цього отримуємо потенційну базу клієнтів, що процюють з ординальними величинами та мають необхідність у покращенні алгоритму для підвищення якості вимірювання.(таблиця 5.8)

Таблиця 5.8

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги до споживачів товару
1	Отримання більш точної відповідності до певного еквівалентного класу шорсткості	Клієнти, що мають намір проводити вимірювання шорсткості об'єкту;	Залежить від мети використання	Можливість отримати точну оцінку якості обробки матеріалу.

Найбільший ефект відповідності оцінок центральної тенденції за медіаною і оператора OWA спостерігається при пропорційному збільшенні і об'єму вибірки і кількості градацій вербальної шкали оцінювання, причому перевагу у цьому випадку має оцінювання центральної тенденції за оператором OWA. Така система є актуальною для галузей, що займаються виготовленням та обробкою певних деталей.

Оскільки проведений аналіз показав, що даний проєкт користуватиметься попитом, звідси виникає ряд загроз.

Основні ризики при реалізації стартап проєкту представлені у таблиці 5.9

Таблиця 5.9
Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Технічний	Створення своїх алгоритмів після технічного аналізу готових	Удосконалити аналог
2	Соціальний	Крадіжка готових даних	Патентування виробу
3	Соціальний	Відсутність у країні чіткого регулювання та захисту при реалізації інтелектуальної власності	Реалізація за кордоном

Найважливішим фактором серед загроз є саме готовий продукт, що реалізується на ринку, тобто ідейно-схожий, але технічно кращий аналог, тому є певна необхідність у подальшому дослідженні алгоритмів задля покращення характеристик продукту. Також існує ризик крадіжки даних, за умови, що готову продукцію не буде запатентовано. Потенційно краще буде спроба реалізації продукту за кордоном.

Проте, попри деякі засади, існують і фактори можливостей, що відкриваються при реалізації стартапу.(таблиця 5.10)

Таблиця 5.10
Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Економічний	Низький податок в даній країні	Патентування виробу

Спостереження показали, що основним фактором, що заохочує і надає великі можливості є низький податок при реалізації розроблюваної системи в Україні.

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції.

Для визначення цих факторів, проведено аналіз у таблиці 5.11

Таблиця 5.11

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові ринку		Висновки
Прямі конкуренти в галузі	Профілометри, цехової моделі, профілографи	Інтенсивність конкурентної боротьби є мінімальна
Потенційні конкуренти	Аналоги даної системи	Поріг входження на ринок мінімальний, адже алгоритм є унікальним
Постачальники	Присутня необхідність мати постачальників	Є певні умови при роботі із постачальниками
Клієнти	Споживачі є платоспроможними технічними клієнтами, відомими на ринку	На жаль, клієнти диктують на ринку умови праці.
Товари-замінники	Загрози зі сторони товарів-замінників відсутні.	Обмеження для роботи на ринку через товаро-замінники відсутні

Згідно проведеного аналізу при наявності даних конкурентів стартап-проект може бути реалізований, як конкурентноспроможний на ринку. Так як конкуренти спеціалізуються на менш вдосконаленому принципі вимірювання, реалізованого у системі вимірювання рівня шорсткості. Так само проект повинен відповідати умовам, що диктують споживачі.

На основі усіх проведених аналізів із урахуванням характеристик ідеї проекту обґрунтовуються фактори конкурентноспроможності за таблицею 5.12.

Таблиця 5.12

Обґрунтування факторів конкурентноспроможності

№ п/п	Фактор конкурентноспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Технічний	Простота реалізації
2	Технічність	Точність визначення приналежності

Головною перевагою порівняно з аналогами є саме унікальність підходу та об'єднання методів для введення проміжних класів, що в свою чергу дає більш точну та якісну оцінку при визначенні приналежності, завдяки введенню шкали квазіпорядку.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін. Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового

середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, цінової конкуренції (а це вже ринкова загроза).

SWOT-аналіз стартап-проєкту проведений за таблицею 5.13.

Таблиця 5.13

SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: точність, ефективність, унікальність	Слабкі сторони: необхідність ознайомлення з теоретичним матеріалом при виконанні вимірювання
Можливості: швидкий запуск стартапу	Загрози: крадіжка інтелектуальної власності, реалізація вдосконаленої системи

SWOT-аналіз стартап-проєкту вказав на сильні сторони, якими є ефективність при вимірюванні ординальних величин та відповідності їх відношення до класів квазіпорядку.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проєкту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проєкти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Аналіз з можливими альтернативами ринкового впровадження стартап-проєкту у таблиці 5.14.

Таблиця 5.14

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернативи (орієнтовний комплекс заходів) для виведення стартап-проєкту	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Продаж ліцензій під захистом КПП	Середня	Середні
2	Продаж ліцензій, як ФОП	Середня	Мінімальні
3	Продаж ліцензій, як фіз. особа	Мінімальна	Мінімальні
4	Продаж ліцензій, як виконання спеціального замовлення	Максимальна	Максимальні

З означених альтернатив обирається та, для якої отримання ресурсів є більш простим та ймовірними та строки реалізації більш стислими. У даному випадку для нашої системи обирається продаж ліцензій, як ФОП.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Вибір цільових груп потенційних споживачів представлений нижче, у таблиці 5.15.

Таблиця 5.15

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивніс ть конкуренції в сегменті	Просто та входу у сегмен т
1	Розробники металевих деталей	Максимальна	Максимальни й	Середня	Легко
2	Викладачі у ВНЗ	Мінімальна	Середній	Мінімальна	Легко
3	Військова промисловість	Середня	Середній	Мінімальна	Середн я
4	Інші стартапи	Мінімальна	Середній	Максималь на	Важко

Виходячи з аналізу, представленому у таблиці вище, можна зробити висновок, що система є спеціалізованим продуктом, що реалізується у галузі розробки механічних деталей задля покращення якості їх обробки.

Першочергово своє застосування і свого споживача потрібно шукати саме у цій галузі.

Для роботи у визначеному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку, що представлена у таблиці 5.16.

Таблиця 5.16

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтерна тива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспро- можні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратег ія розвитк у
1	Продаж ліцензій, як ФОП	Компанія планує використовувати масовий маркетинг, працюватиме з усім ринком.	Простота, швидкість визначення, висока точність	Викори с-тання стратег ії спеціал і-зації

Для обраної альтернативи розвитку проєкту було обрано продаж ліцензій як фізична особа підприємець. Компанія планує розвиватись і не обмежувати себе у тій чи іншій галузі, за наявності попиту.

Після визначення базової стратегії розвитку, треба визначитися зі стратегією конкурентної поведінки(таблиця 5.17)

Таблиця 5.17

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки

Продовження табл. 5.17

1	Певною мірою є проект унікальним	Компанія планує шукати нових споживачів	Не буде	Стратегія зайняття конкурентної ніші
---	----------------------------------	---	---------	--------------------------------------

Оскільки даний продукт показує, що він є першопрохідцем у своїй галузі і проект здатен зайняти свою нішу, а можливо і витіснити конкурентів, адже має головну перевагу – кращу точність при визначенні класу приналежності, обрано стратегію зайняття конкурентної ніші на особливостях, які важливі споживачу.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього було записано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Визначення класу шорсткості	Вирішення даної потреби	Висока точність

Головною перевагою є саме точність за рахунок введення проміжних класів та класів еквівалентності і простота вимірювання, порівняно з конкурентними товарами.

Трирівнева маркетингова модель товару дає зрозуміти, сутність та складову товару.

Таблиця 5.19

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Система визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь
I. Товар у реальному виконанні	Якість: ISO, параметри тестування
	Пакування відсутнє
	Марка: відсутня
III. Товар із підкріпленням	СВРШ, ПЗ, пояснення до роботи системи
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент на алгоритм системи, патент на магістерську дисертацію	

За задумом проєкт визначає рівень шорсткості поверхонь деталей та відносіть їх до певних класів еквівалентності для отримання значення якості обробки деталі. До використання клієнт має ознайомитися з принципом роботи проєкту. За рахунок патенту товар буде захищено авторським правом.

Визначення цінових меж допомагає при визначенні та встановленні ціни на товар, що реалізується.

Таблиця 5.20

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	100\$-10 000\$	200\$-1 000 000\$	500\$-10 000\$

У проєкті представлено абсолютно новий підхід до вирішення проблеми та визначено межі встановлення ціни.

Опис системи збуту товару представлено у таблиці 5.21.

Таблиця 5.1
Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Клієнти купують продукт у компанії-розробника	1.Встановлення контакту; 2.Інформування; 3.Транспортування; 4.Продаж окремих частин; 5.Надання додаткових послуг (якщо був підписаний договір)	1.Розробник комплектуючих 2.Постачальник комплектуючих; 3.Розповсюджувач продукції	Договір на дострокове користування технологіями

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів – клієнти купують продукт безпосередньо у компанії-розробника завдяки інформуванню та виходу на зв'язок компанії-розробника.

Після визначення системи збуту товару, необхідно побудувати концепцію маркетингових комунікацій з потенційними клієнтами.

Концепція маркетингових комунікацій у таблиці 5.22.

Таблиця 5.2

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуван ня	Завдання рекламного повідомлен ня	Концепція рекламного звернення
1	Підприємці	1.Електронна пошта; 2.Публікації (інженерні); 3.Зустрічі	Точність; Швидкість вимірювання	Показати високу ефективність на простоту використан ня	Контент- маркетинг; Публікації про продукт

Проаналізувавши специфіку поведінки цільових клієнтів, було обрано концепцію рекламного звернення: публікація даних про продукт. Реклама буде поширюватись через інтернет. Завданням рекламного повідомлення є зацікавлення та поширення інформації про продукт потенційним клієнтам.

5.6 Висновки

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проєкту стосовно системи вимірювання рівня шорсткості оброблених поверхонь, можна зробити наступні висновки:

Можливість ринкової комерціалізації проєкту на основі магістерської дисертації можлива. Конкуренція на ринку України в цій області не є значною, що обумовлює відносно легкий вхід на український ринок, проте, актуальним є впровадження ідеї стартапу для закордонних організацій в цілях розвитку проєкту. Звідси можна зробити висновок, що присутні попит та рентабельність роботи на ринку, а потреби споживачів супроводжуються позитивною динамікою.

Перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, незважаючи на наявність конкурентів, є дуже оптимістичними. Вирішується основна задача – введення проміжних класів еквівалентності, що дає змогу більш детально та з більшою точністю визначити на віднести результат дослідження до певного проміжного класу. Порядкова величина – величина, визначена загальноприйнятою процедурою вимірювання, для якої можна встановити сумарне відношення упорядкування, відповідно до величини, з іншими величинами того ж виду, але для яких серед цих величин не існує алгебраїчних операцій. Проєкт є конкурентоспроможним.

Для реалізації системи з вимірювання рівня шорсткості було обрано продаж ліцензій клієнтам як фізична-особа-підприємець. Усі операції відбуваються на офіційному рівні з відповідною документацією.

Проаналізувавши усі фактори, було визначено, що подальша імплементація проєкту є доцільною.

Особливістю метрологічного забезпечення вимірювання рівня шорсткості є те, що вимірювання проводять за шкалою квазіпорядку, тобто за послідовністю впорядкованих класів еквівалентності. Це також безсумнівно дає первні переваги перед компаніями-конкурентами на ринку.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

- Встановлено, що особливістю шорсткості поверхні є те, що вона відноситься до ординальних величин, тобто потребує певної градації у конкретних умовах.
- Розглянуто параметри шорсткості та наведено таблицю порівняння класів шорсткості, виведені значення оцінки якості оброблення поверхні.
- Систематизовано класи вимірювання шорсткості за якістю механічної обробки.
- Встановлено, що візуальний контроль виконують, як правило, неозброєним оком або за допомогою лупи. Крім того, візуальний контроль включає в себе зовнішній і внутрішній огляди об'єкта, при цьому формується якісна оцінка відхилення від заданої геометричної форми, корозійного стану, фіксується наявність поверхневих дефектів.
- Ця додаткова інформація теж може бути врахована у вербальному вигляді, як загальна оцінка стану об'єкту.
- В ході огляду розглянуті різні методи вимірювання шорсткості поверхні, виявлені основні особливості, проаналізовані переваги і недоліки даних методів.
- Розглянуто два методи опрацювання вербальних вибірок: перший, що заснований на присвоєнні рангів і другий, що заснований на використанні оператора OWA.
- Встановлено, що ранговий метод має певні недоліки: по-перше, кожне перетворення є довільним, і різні кодифікації можуть призвести до різних результатів. По-друге, кодифікація вводить поняття відстані між рівнями масштабу, яке спочатку не визначене. По-третє, оскільки початковий розподіл оцінок дискретний з дуже малою кількістю рівнів,

центральна гранична теорема навряд чи застосовується до цього контексту.

- Встановлено, що емулятор OWA середнього арифметичного зазвичай використовується з лінгвістичними шкалами. Оператор OWA може приймати значення лише в наборі рівнів вихідної порядкової шкали, уникаючи синтезу інформації, що міститься в вибірці, тому в роботі прийняте рішення про удосконалення оцінки центру вибірки за оператором OWA.
- Встановлено, що потрібна перевірка правильності за допомогою еталонних засобів вимірювання рівня шорсткості оброблених поверхонь.
- Оскільки шорсткість поверхні – ординальна величина, перевірка правильності визначається відповідно до таблиць 4.1 та 4.2.
- Розроблено структурну схему системи вимірювання рівня шорсткості оброблених поверхонь.
- Розроблена система може функціонувати в двох режимах: 1) в режимі контролю шорсткості однієї поверхні визначається середній рівень шорсткості; 2) в режимі контролю процесу оброблення декількох поверхонь складається контрольна карта.
- У цьому розділі розроблено алгоритм роботи системи з визначення рівня шорсткості поверхонь на основі візуального і тактильного контролю.
- Рівень шорсткості визначається за центральною тенденцією вербальної вибірки, яка складається з результатів багаторазових порівнянь шорсткості поверхні деталі з шорсткістю поверхні еталонних зразків. Проаналізовано результати визначення центральної тенденції вербальної вибірки за медіаною вибірки і емулятором середнього арифметичного для вербальної вибірки OWA.

- Запропоновано об'єднання результатів визначення центральної тенденції за двома операторами в алгоритмі опрацювання вербальних даних системи з визначенням проміжних класів еквівалентності.
- У ході роботи було досліджено, що розрізняльна здатність оператора OWA збільшується при збільшенні об'єму вибірки і кількості вербальних градацій шкали оцінювання, причому більша збіжність результатів, отриманих двома способами, спостерігається при збільшенні вербальних градацій шкали оцінювання при одному і тому об'ємі вибірки.
- Проведено моделювання процедури побудови контрольної карти з визначенням попереджувальних і контрольних границь для 20 об'єктів, після чого було побудовано контрольну карту технологічного процесу.
- Узагальнюючи проведений аналіз стартапу проєкту стосовно системи вимірювання рівня шорсткості оброблених поверхонь, можна зробити наступні висновки:
- Можливість ринкової комерціалізації проєкту на основі магістерської дисертації можлива. Конкуренція на ринку України в цій області не є значною, що обумовлює відносно легкий вхід на український ринок, проте, актуальним є впровадження ідеї стартапу для закордонних організацій в цілях розвитку проєкту. Звідси можна зробити висновок, що присутні попит та рентабельність роботи на ринку, а потреби споживачів супроводжуються позитивною динамікою.
- Перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, незважаючи на наявність конкурентів, є дуже оптимістичними. Вирішується основна задача – введення проміжних класів еквівалентності, що дає змогу більш детально та з більшою точністю визначити на віднести результат дослідження до певного проміжного класу. Порядкова величина – величина, визначена загальноприйнятою процедурою вимірювання, для якої можна встановити сумарне відношення упорядкування, відповідно до величини, з іншими

величинами того ж виду, але для яких серед цих величин не існує алгебраїчних операцій. Проєкт є конкурентоспроможним.

- Для реалізації системи з вимірювання рівня шорсткості було обрано продаж ліцензій клієнтам як фізична-особа-підприємець. Усі операції відбуваються на офіційному рівні з відповідною документацією.
- Проаналізувавши усі фактори, було визначено, що подальша імплементація проєкту є доцільною.

Список використаної літератури

- [1] Орнатський П.П. Вступ до методології науки про вимірювання. Навчальний посібник. К.:ІСЛО, 1994.-160с.
- [2] Яремчук Н. А. Интеллектуальные средства измерительной техники: Учебное пособие: Том 1. Методология интеллектуальных средств измерительной техники.-К. Корнійчук, 2017.-208с.
- [3] Поняття шорсткості. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org>
- [4] Вимірювання шорсткості. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://studfile.net/preview/6272869/page:19/>
- [5] Класифікація рівні шорсткості. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5992373/page:4/>
- [6] Побудова контрольних карт. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.euroacademia.com.ua>
- [7] Шумілін А.Г., Яремчук Н.А – “Способи визначення центральної тенденції вибірок вербальних даних”. -Збірник праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених.-487с.
- [8] М. Д. Кендалл, А. Стюарт “Статистические выводы и связи” Изд-во “Наука” М., 1972, 900 с.
- [9] Методи вимірювання шорсткості. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://vseslova.com.ua/>
- [10] Профілометри-профілографи. Опис моделі. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://obrobka.pp.ua/>
- [11] Процедура візуального контролю шорсткості поверхні - ГОСТ Р ISO 8501-1-2014
- [12] Способи оцінки шорсткості поверхні. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5398872/page:5/>
- [13] В. А. Егоров «Оптические и щуповые приборы для измерения шероховатости поверхности» - вид. «Машинобудовання» Москва 1965 г 224 з.

- [14] Fiorenzo Franceschini, Maurizio Galetto and Marco Varetto - “Ordered Samples Control Charts for Ordinal Variables” // Research
- [15] Yager R, Filev DP. Essentials of Fuzzy Modeling and Control. Wiley: New York, 1994.
- [16] ISO/IEC Guide 99:2007 International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM) – ISO.- 2007.
- [17] Діаграма Парето [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://ni.biz.ua/11/11_19/11_19818_gistogramma.html
- [18] Новіков В.М. Никитюк О.А. Розробка систем якості та аналіз вимог ISO\IEC 17025 –К.,”Нора-прінт”, 2002, 226 с
- [19] Agresti, A. (1984). Analysis of Ordinal Categorical Data. New York, USA: J. Wiley.
- [20] Franceschini, F., Rossetto, S. (1995). QFD: the problem of comparing technical/engineering design requirements. Research in Engineering Design 7:270–278
- [21] Franceschini, F., Rossetto, S. (1999). Service qualimetrics: the QUALITOMETRO II method. Quality Engineering 12(1):13–20
- [22] Yager, R. R. (1993). Non-numeric multi-criteria multi-person decision making. Group Decision and Negotiation 2:81–93
- [23] Yager, R. R., Filev, D. P. (1994). Essentials of Fuzzy Modeling and Control. New York, USA: J. Wiley.
- [24] Kendall, M., Stuart, A. (1977). The Advanced Theory of Statistics. 4th ed. London: Griffin.
- [25] Franceschini, F., Romano, D. (1999). Control chart for linguistic variables: a method based on the use of linguistic quantifiers. International Journal of Production Research 37(16):3791–3801.
- [26] Montgomery, D. C., Runger, G. C. (1999). Applied Statistics and Probability for Engineers. 2nd ed. New York, USA: J. Wiley.

ДОДАТОК А

Стаття прийнята до публікації в збірнику праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні».

УДК 681.142

*А.Г. Шумілін, студент гр. ПВ-91мп, Н.А. Яремчук, доц., к.т.н., проф.
каф. ІВТ*

Способи визначення центральної тенденції вибірок вербальних даних

***Анотація.** При опрацюванні вербальних даних, отриманих при візуальному контролі якості продукції і при експертному оцінюванні, виникає необхідність в визначенні центральної тенденції вербальних вибірок. В роботі проведено порівняльний аналіз оцінювання центральної тенденції вербальних вибірок за медіаною вибірки і за оператором ОWA, і отримано рекомендації щодо вибору об'єму вибірок і кількості вербальних градацій шкали оцінювання.*

***Ключові слова:** вербальна вибірка, медіана, оператор ОWA.*

Вступ

При контролі якості продукції, стану об'єктів або характеристик технологічних процесів використовується така процедура експериментальної інформатики як спостереження. За [1] спостереження – це відображення властивості об'єкта або його стану словами або графічним описом. Тобто результатами спостереження є вербальні дані. Крім того, при вирішенні багатьох практичних проблем використовуються лінгвістичні шкали, шкали якості продукції або сервісів. Оскільки градації таких шкал, як правило, впорядковані, використовуються шкали квазіпорядку, за яких встановлено порядок на класах еквівалентності, тобто на терм-множині лінгвістичної змінної. Прикладами впорядкованих назв класів еквівалентності може бути для стану об'єкту: «незадовільний», «задовільний», «добрий». В [2] наведено результати візуального контролю процесу закорковування пляшок з алкогольними напоями за наступними класами еквівалентності: «зовсім

відкинуто», «погана якість», «середня якість», «добра якість», «дуже добра якість». В [3] для побудови контрольної карти якості обробки поверхні використовувались 10 вибірок, кожна з яких складалась з чотирьох результатів спостережень, поданими за класами якості: «низька – L», «середня – M», «висока – H». Тобто приклад однієї вибірки мав вигляд: «HНML». І тому методи опрацювання вербальних даних відрізняються від методів опрацювання числових даних. Проблема online моніторингу ординальних якісних характеристик потребує розвитку спеціальних методів опрацювання ординальних даних. Одним із важливих параметрів вибірки ординальних даних є центральна тенденція, для визначення якої можуть бути використана медіана вибірки та оператор OWA, що є емулятором середнього арифметичного вербальної вибірки. Дана робота присвячена порівнянню цих операторів з метою надання рекомендацій для їх практичного застосування.

Огляд попередніх робіт

При опрацюванні вербальних даних використовуються два підходи. Перший заснований на арифметизації вербальної шкали, що є впорядкованою послідовністю класів еквівалентності. Арифметизація шкали заснована на присвоєнні окремим класам еквівалентності числових рангів, значення яких розташовуються згідно з порядком класів еквівалентності. Вербальні вибірки оцінюють за сумою рангів окремих елементів вибірки. Це дозволяє ранжувати вибірки, наприклад, за якістю технологічного процесу, тому що вищий ранг вибірки свідчить про вищу якість. Але багато вчених, що працюють в галузі опрацювання вербальних даних, вважають, що примусове введення рангів призводить до штучного введення відстані між класами еквівалентності. І паралельно до рангових способів опрацювання вербальних даних вводять процедури і оператори, що дозволяють ранжувати вибірки вербальних даних без арифметизації. Перший спосіб ранжування вербальних даних заснований на критерії домінування, що дозволяє будувати контрольні карти технологічних процесів. Але при використанні тільки критерію домінування

частина вербальних вибірок залишається нерозрізненою. Тому доводиться використовувати кілька критеріїв одночасно [4]. Класифікувати вербальні вибірки за центральною тенденцією дозволяють такі оператори як емулятор середнього значення вербальної вибірки OWA [5] і медіана вибірки. Оператор OWA визначається як

$$OWA = \underset{k=1}{\overset{n}{\text{Max}}}[\text{Min}\{Q(k), b_k\}] \text{ , де} \quad (1)$$

$$Q(k) = S_{f(k)} \text{ , } K = 1, 2, \dots, n;$$

$$f(k) = \text{Int}\{1 + [k(t-1) / n]\};$$

Int – найближче ціле число;

t – кількість рівнів шкали;

n – об'єм вибірки;

B_k – k-тий елемент вибірки, ранжованої за зменшенням порядку.

Медіану ранжованої вибірки доцільно використовувати при непарному значенні n. При парному n результат отримання центральної тенденції може бути неоднозначним.

Результати дослідження

В роботі [2] проведено аналіз способів побудови контрольних карт із застосуванням таких критеріїв і операторів опрацювання вербальних даних як критеріїв домінування і оператор OWA. Це дозволило ранжувати вербальні вибірки з метою їх розміщення на контрольній карті. Так як при побудові контрольних карт застосовуються послідовність вибірок малого об'єму, автори [2] вибрали для аналізу вибірки об'ємом 2,3,4 з кількістю рівнів шкали 3,5,7,9. Оскільки варіантів комбінування в такій ситуації було багато, то кількість класів еквівалентності становила, наприклад, (при n=4, t=9) 495.

Зважаючи на обмежену розрізняльну здатність при візуальному контролі або експертному оцінюванні (максимальне значення розрізняваних градацій або рівнів за [6] дорівнює 7) автори даної роботи обмежились кількістю розрізняваних рівнів 3,5,7. Крім того, об'єм вибірки було збільшено

для отримання стійкого значення центральної тенденції. Задачею дослідження була класифікація вербальних вибірок за центральною тенденцією. Для визначення центральної тенденції використовувались два способи: за медіаною вибірки і за оператором OWA. Щоб отримати однозначну оцінку за медіаною вибірки, кількість елементів вибірки була непарною.

Дослідження проводилось за наступними етапами: визначення вхідних даних, а саме об'єму вибірки n , кількості t і позначень рівнів шкали або класів еквівалентності; визначення медіани за центральним членом ранжованої вибірки; визначення вагової функції оператора OWA; визначення центральної тенденції вибірки за оператором OWA (формула 1); порівняння отриманих результатів.

Якщо обрати об'єм вибірки $n=3$, $t=3$ у відповідності з найменуванням класів еквівалентності $S_1=L$; $S_2=M$; $S_3=H$; тоді отримаємо вагову функцію оператора OWA за $f(k)$, $k=1,2,3$, тобто $f(1)=2$, $f(2)=2$, $f(3)=3$; $Q(k=1)=S_2$; $Q(k=2)=S_2$; $Q(k=3)=S_3$. Для першої і другої вибірки табл. 1 отримуємо:

$$OWA = \max_{k=1}^3 [\min\{S_2, L\}; \min\{S_2, L\}; \min\{S_3, L\};] = L \quad (2)$$

$$OWA = \max_{k=1}^3 [\min\{S_2, M\}; \min\{S_2, L\}; \min\{S_3, L\};] = M$$

Таблиця 1

Результати визначення центральної тенденції для вербальних вибірок

Об'єм вибірки n	Кількість класів еквівалентності t	Досліджувані вибірки	Центральна тенденція	
			за медіаною вибірки	за оператором OWA
3	3	MLL	L	M
	
		NHM	H	M
3	5	HLL	L	LM
		NHM	H	MH
5	3	HLLLL	L	L

Продовження табл. 1

		HHNHM	H	M
5	5	HLLLL	L	LM
	
		HHNHM	H	MH
7	3	HLLLLLL	L	L
		HHHHHMM	H	M
		HHHHNHM	H	H
7	5	HLLLLLL	L	L
		HHLLLLL	H	MH
		HHHHNHM	H	H

Підвищуємо розрізняльну здатність операторів, збільшуючи кількість класів еквівалентності до $t=5$ за рахунок двох проміжних класів. Тоді $S_1=L$; $S_2=LM$; $S_3=M$; $S_4=MH$; $S_5=H$; і при $n=3$ та $t=5$ збіжність результатів за медіаною і оператором OWA збільшується. Потім збільшуємо об'єми вибірок. Результати обчислень наведено в табл.1.

Висновки.

- На основі отриманих в таблиці 1 результатів дослідження можна зробити наступні висновки:
- При об'ємах вибірок $n=3$ і кількості градацій вербальної шкали оцінювання $t=3$ на результати визначення центральної тенденції за оператором OWA суттєво впливає ступінчастість вагової функції, і це приводить до розбіжностей між результатами, отриманими за медіаною вибірки і оператором OWA, причому перевагу треба віддати медіані вибірки.

- Розрізняльна здатність оператора OWA збільшується при збільшенні об'єму вибірки і кількості вербальних градацій шкали оцінювання, причому більша збіжність результатів, отриманих двома способами, спостерігається при збільшенні вербальних градацій шкали оцінювання при одному і тому об'ємі вибірки.
- Найбільший ефект відповідності оцінок центральної тенденції за медіаною і оператора OWA спостерігається при пропорційному збільшенні і об'єму вибірки і кількості градацій вербальної шкали оцінювання, причому перевагу у цьому випадку має оцінювання центральної тенденції за оператором OWA.

Список використаних джерел.

1. Орнатський П.П. Вступ до методології науки про вимірювання. Навчальний посібник. К.:ІСЛО, 1994.-160с.
2. Qualitative Ordinal Scales: The concept of Ordinal Range. F.Franceschini, M.Galetto, M.Vazetto // Quality engineering. Vol.16 №4 pp. 515-524, 2004.
3. Ordered Samples Control Charts for Ordinal Variables. F.Franceschini, M.Galetto, M.Vazetto // Quality and Reliability Engineering International, 2005, 21:177-195.
4. Опрацювання вербальних даних за побудови контрольних карт. Н. Яремчук, Р. Семенюк // Метрологія та прилади №5-1(67), 2017 с.58-61.
5. Yager R., Filev DP. Essentional of Fuzzy Modeling and Control. Wiley: New York, 1994.
6. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Е. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. – К.ТОВ «Маклаут», - 2008.- 444с.

Наук. керівник – к.т.н., проф. каф. ІВТ, доц. Яремчук Н. А.

ДОДАТОК Б

Стаття прийнята до публікації в збірнику матеріалів XIII Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування».

УДК 681.142

*А.Г. Шумілін, студент гр. ПВ-91мп, Н.А. Яремчук, доц., к.т.н., проф.
каф. ІВТ.*

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Система визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь

Анотація. При визначенні рівня шорсткості поверхонь після механічної обробки використовується їх візуальний контроль, за яким на основі результатів багаторазових спостережень отримують вербальну вибірку, що характеризує якість обробки поверхні. В роботі розглянуто алгоритм роботи системи визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь, що заснований на знаходженні центральної тенденції вибірки вербальних даних.

Ключові слова : рівні шорсткості, візуальний контроль, вербальна вибірка.

ВСТУП. МЕТА РОБОТИ

В експериментальній інформатиці розрізняють наступні види шкал: метричні (відношень, різниць та абсолютні), шкали ординальних величин і шкали найменувань [1]. Ці шкали забезпечують відображення властивостей у відповідних процедурах експериментальної інформатики: спостереженні, вимірюванні, контролі, діагностуванні, тощо [2]. Якщо процедурою експериментальної інформатики є спостереження, то результатом є відображення прояву властивості словесним або графічним описом, тобто при спостереженні використовується шкала найменувань. Але якщо між проявами властивостей існує відношення порядку, застосовується впорядкована шкала найменувань або впорядкована лінгвістична шкала, що є шкалою квазіпорядку, в якій визначається порядок на класах еквівалентності. Така шкала є проміжною між шкалою найменувань і ординальною шкалою.

В даній роботі розглядається процедура визначення рівня шорсткості поверхонь після їх механічної обробки. Шорсткість поверхні визначається за сукупністю нерівностей поверхні з відносно малою відстанню за базовою довжиною. Вимірювана шорсткість є наслідком технологічної обробки поверхонь, наприклад, абразивами. Тому вона може використовуватись для характеристики якості технологічного процесу. Стандарт ISO 8503 [3] визначає вимоги із застосуванням компараторів профілю, що призначені для візуального і тактильного порівняння сталевих поверхонь, оброблених абразивним способом. Отже в основі експериментальної процедури знаходиться спостереження, за яким визначається три рівні шорсткості: тонкий (Т), середній (С), грубий (Г). Тобто шорсткість визначається за шкалою квазіпорядку з трьома категоріями або класами еквівалентності.

Основною метою роботи є розробка алгоритму опрацювання даних, отриманих при багаторазових спостереженнях рівня шорсткості, який реалізується в системі визначення рівня шорсткості оброблених поверхонь.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Система визначення рівня шорсткості поверхонь складається з наступних блоків: блок порівняння профілів (блок класифікації), блок передачі отриманих даних, блок опрацювання вибірок вербальних даних.

Вихідною інформацією для класифікації є класи шорсткості поверхонь, що групуються наступним чином : 1,2,3 – грубі; 4,5 – напівчисті; 6,7,8 – чисті; 9,10,11,12 – дуже чисті; 13,14 – найвищої чистоти. Контроль шорсткості за допомогою зразків [4] порівняно простий і широко застосовується на робочих місцях. При контролі порівнюють шорсткість поверхні деталі з шорсткістю поверхні еталонного зразка шляхом огляду і обмацування нігтем або пальцем упоперек слідів оброблення поверхні. Еталонні зразки це зразки відповідної форми, виготовлені з того ж матеріалу і оброблені тим самим способом, що і деталь під контролем. Порівнюючи оброблену поверхню деталі, яку перевіряють, з еталонним зразком, що до неї прикладають, встановлюють клас чистоти обробки. Недоліком візуального метода класифікації є суб'єктивізм оцінювання. За літературними джерелами такий спосіб порівняння дає правильні результати при перевірці деталей від 1-го до 7-го класів чистоти. При використанні допоміжних засобів, таких як збільшуюча лупа, область правильної перевірки розширюють до 10-го класу. Тому на практиці за даним способом обмежуються трьома рівнями шорсткості: грубим, середнім і тонким. Загальний висновок про рівень шорсткості приймають за вибіркою, що в середньому складається з п'яти спостережень. Тому подальшою задачею є вибір алгоритму визначення центральної тенденції вербальної вибірки, складові якої класифіковано за трьома рівнями: грубий – Г, середній – С, тонкий – Т.

Класифікувати вербальні вибірки за центральною тенденцією дозволяють такі оператори як емулятор середнього значення вербальної вибірки OWA [5] і медіана вибірки. Оператор OWA визначається як

$$OWA = \underset{k=1}{\overset{n}{Max}}[Min\{Q(k), b_k\}] , \text{ де} \quad (1)$$

$$Q(k) = S_{f(k)}, \quad k = 1, 2, \dots, n;$$

$$f(k) = \text{Int}\{1 + [k(t-1) / n]\};$$

Int – найближче ціле число;

t – кількість рівнів шкали;

n – об'єм вибірки;

b_k – k-тий елемент вибірки, ранжованої за зменшенням порядку.

Медіану ранжованої вибірки доцільно використовувати при непарному значенні n. При парному n результат отримання центральної тенденції може бути неоднозначним [6].

З метою подальшого вибору алгоритму опрацювання вербальних даних проведено моделювання процедури знаходження центральної тенденції за двома методами: за оператором OWA і медіаною. Для дослідження використовуються вербальні вибірки після її ранжування за спаданням якості оброблення поверхні. Об'єм вибірки $n=5$, кількість вербальних градацій $t=3$. Вагова функція оператора OWA $f(k)$ становить $f(1)=1$, $f(2)=2$, $f(3)=2$, $f(4)=3$, $f(5)=3$; $Q(1)=S_1=\Gamma$; $Q(2)=S_2=C$; $Q(3)=S_2=C$; $Q(4)=S_3=T$; $Q(5)=S_3=T$. Для третього рядка таблиці 1:

$$\text{OWA} = \text{Max}[\text{Min}(\Gamma, C); \text{Min}(C, C); \text{Min}(C, \Gamma); \text{Min}(T, \Gamma); \text{Min}(T, \Gamma)] = C$$

Результати моделювання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Оцінювання центральної тенденції вербальних вибірок

<i>Досліджувані вибірки</i>	<i>Центральна тенденція</i>		
	<i>За медіаною</i>	<i>За оператором OWA</i>	<i>За двома способами</i>
ГГГГГ	Г	Г	Г
СГГГГ	Г	Г	Г
ТГГГГ	Г	Г	Г
ССГГГ	Г	С	НГ

Продовження табл. 1

ТСГГГ	Г	С	НГ
ТТГГГ	Г	С	НГ
СССГГ	С	С	С
ССССГ	С	С	С
ССССС	С	С	С
ТССГГ	С	С	С
ТТСГГ	С	С	С
ТСССГ	С	С	С
ТТССГ	С	С	С
ТТТГГ	Т	С	НТ
ТТТСС	Т	С	НТ
ТТТСГ	Т	С	НТ
ТТТТГ	Т	Т	Т
ТТТТС	Т	Т	Т
ТТТТТ	Т	Т	Т

За проведеним моделюванням можна зазначити наступне. Результати визначення центральної тенденції за медіаною і оператором OWA не завжди співпадають. Це пояснюється тим, що медіана нечутлива до змін крайніх членів впорядкованої вибірки, а емулятор середнього арифметичного за вербальною вибіркою OWA навпаки чутливий. Це призводить до того, що при наявності відхилень на краях вибірки за оператором OWA центральна тенденція зміщується в бік відхилення, в результаті чого збільшується кількість вибірок, класифікованих за середнім класом еквівалентності, що видно на таблиці 1. Що до оцінки за медіаною, то її не рекомендують для застосування при антимодальному розподілі членів вибірки.

Так як обидві оцінки не є універсальними, то для підвищення точності визначення центральної тенденції вербальної вибірки запропоновано

використати два способи визначення центральної тенденції: за медіаною і за оператором OWA. В тих випадках, коли результати визначення центральної тенденції не співпадають (знаходяться в сусідніх класах еквівалентності) запропоновано використовувати проміжні класи еквівалентності у відповідності з наведеними вище рівнями шорсткості: грубий (Г), напівгрубий (НГ), середній (С), напівточний (НТ), точний (Т). Це відображено в останньому стовпці таблиці 1.

Тоді до алгоритму опрацювання вибірки вербальних даних входять наступні етапи: ранжування вибірки за порядком спадання якості оброблення, визначення центральної тенденції за оператором OWA і медіаною, об'єднання результатів визначення центральної тенденції і визначення кінцевого рівня шорсткості.

ВИСНОВКИ

В роботі представлено алгоритм роботи системи з визначення рівня шорсткості поверхонь на основі візуального і тактильного контролю. Рівень шорсткості визначається за центральною тенденцією вербальної вибірки, яка складається з результатів багаторазових порівнянь шорсткості поверхні деталі з шорсткістю поверхні еталонних зразків. Проаналізовано результати визначення центральної тенденції вербальної вибірки за медіаною вибірки і емулятором середнього арифметичного для вербальної вибірки OWA. Запропоновано об'єднання результатів визначення центральної тенденції за двома операторами в алгоритмі опрацювання вербальних даних системи з визначенням проміжних класів еквівалентності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Орнатський П.П. Вступ до методології науки про вимірювання. Навчальний посібник. К.:ІСЛО, 1994.-160с.
- [2] Яремчук Н. А. Интеллектуальные средства измерительной техники: Учебное пособие: Том 1. Методология интеллектуальных средств измерительной техники.-К. Корнійчук, 2017.-208с.
- [3] ISO 8503-1:2012.Preparation of steel substrates before application of paints and related products.-Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrates.-Part 1 Specifications and definitions for ISO surface profile comparators for the assessment of abrasive blast0cleaned surfaces.
- [4] Iso 8509:2008. Visual assessment of surface cleanliness.
- [5] Yager R., Filev DP. Essentional of Fuzzy Modeling and Controlю Wiley:New York, 1994.
- [6] Шумілін А.Г., Яремчук Н.А – “Способи визначення центральної тенденції вибірок вербальних даних”. -Збірник праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених.-487с.

Наук. керівник – к.т.н., проф. каф. ІВТ, доц. Яремчук Н. А.